

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Автоматическая система распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания

УДК 621.182.9-63-046.66

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Демидович Анастасия Витальевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова Александра Михайловна	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы  
бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные</i>	
P1	Применять математические, естественнонаучные, инженерные, гуманитарные, социально-экономические знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>теплоэнергетических и теплотехнических установок</i> , автоматизированных систем управления, средств автоматизации и контроля.
P2	Формулировать задачи в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Проектировать <i>теплоэнергетические и теплотехнические системы</i> , автоматизированных систем управления и их компоненты.
P4	Планировать и проводить испытания и экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>систем теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, их оборудования, интерпретировать данные и делать выводы.
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления
P6	Применять практические знания принципов и технологий <i>теплоэнергетической и теплотехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i>
P12	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель профиля  
Озерова И.П.

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Демидович Анастасии Витальевне

Тема работы:

Автоматическая система распыления и вторичного измельчения капель топлива в камере сгорания	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№135-41/с от 14.05.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Объектом проектирования является водогрейный котельный агрегат ICI REX 300 мощностью 3000 кВт. Основное топливо – эмульсионное топливо, приготовленное на основе воды и дизельного топлива. При разработке системы распыления и вторичного измельчения предусмотреть использование современных микропроцессорных технических средств автоматизации для реализации функций автоматического контроля параметров и управления системы топливоподачи.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Научно-исследовательская работа.</li> <li>2 Проектирование АСР расхода жидкого топлива в топочную камеру котельного агрегата.</li> <li>3 Разработка щита управления.</li> <li>4 Расчет параметров настройки регулятора.</li> <li>5 Разработка мнемосхемы проекта.</li> <li>6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>7 Социальная ответственность.</li> </ol>

Перечень графического материала	1 Схемы структурная. 2 Схема функциональная. 3 Электрическая схема соединений щита управления. 4 Схема монтажная. 5 Общий вид щита управления.
---------------------------------	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2020
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Демидович Анастасия Витальевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 95 с., 20 рис., 28 табл., 50 источников.

Ключевые слова: котлоагрегат, композиционное топливо, система топливоподачи, вторичное измельчение, автоматическая система регулирования.

Объектом автоматизации является водогрейный котел ICI REX 300.

Цель работы – разработка автоматической системы распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания на основе микропроцессорных средств автоматизации.

В процессе выполнения работы проводились экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы автоматической системы регулирования расхода жидкого топлива, проектирование функциональной схемы, принципиальной электрической и монтажной схем, а также разработка чертежа общего вида щита автоматизации, выбор приборов и технических средств автоматизации с последующим составлением заказной спецификации, разработка мнемосхемы проекта.

В результате исследования разработана автоматическая система распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Основным преимуществом разработанной системы является наличие программно-оперативного комплекса на базе SCADA-системы, который повышает качество регулирования и быстродействия системы, а также позволяет вовремя отреагировать на любую сложную ситуацию в процессе эксплуатации системы.

## Оглавление

Введение .....	9
1 Научно-исследовательская работа .....	11
1.1 Объекты и методы исследования .....	11
1.2 Методика обработки, регистрируемые и рассчитываемые параметры ..	13
1.3 Результаты исследований .....	15
1.4 Основные комментарии и заключения .....	18
2 Разработка АСР расхода жидкого топлива в топочную камеру котельного агрегата .....	19
2.1 Выбор структуры автоматической системы регулирования.....	21
2.2 Разработка функциональной схемы АСР.....	22
2.3 Выбор технических средств и составление спецификации .....	24
2.3.1 Выбор датчиков температуры .....	25
2.3.2 Выбор преобразователя давления .....	28
2.3.3 Выбор технических средств измерения расхода .....	29
2.3.4 Выбор регулирующего устройства .....	32
2.3.5 Выбор исполнительного механизма.....	36
2.3.6 Выбор блока управления исполнительным механизмом .....	37
3 Разработка принципиальной электрической схемы автоматической системы регулирования .....	38
4 Разработка монтажной схемы автоматической системы регулирования.....	39
5 Разработка чертежа общего вида щита управления .....	41
6 Расчет параметров настройки регулятора.....	43
6.1 Идентификация объекта управления .....	43
6.2 Расчет параметров настройки регулятора.....	45
7 Разработка мнемосхемы проекта.....	52
8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	57
8.1 Оценка коммерческого потенциала исследования .....	57
8.2 Планирование работ и оценка времени выполнения .....	58

8.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	64
8.3.1 Расчет материальных затрат .....	64
8.3.2 Расчет затрат на заработную плату .....	65
8.3.3 Расчет затрат на социальный налог.....	66
8.3.4 Расчет затрат на электроэнергию .....	66
8.3.5 Расчет амортизационных расходов .....	67
8.3.6 Расчет прочих расходов .....	68
8.3.7 Расчет накладных расходов .....	68
8.3.8 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	69
8.4 Определение экономической эффективности проекта .....	70
9 Социальная ответственность .....	75
9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	75
9.2 Производственная безопасность .....	77
9.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	79
9.3.1 Повышенная влажность воздуха .....	79
9.3.2 Пониженная подвижность воздуха .....	80
9.3.4 Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны .....	80
9.3.5 Повышенная пульсация светового потока.....	81
9.3.6 Физические и нервно-психические перегрузки.....	82
9.3.7 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека .....	83
9.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего .....	84
9.5 Экологическая безопасность .....	86
9.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	87
9.7 Заключение по разделу социальная ответственность .....	89
Заключение .....	90
Список использованных источников .....	91

Графический материал:

ФЮРА.421000.004 С1

ФЮРА.421000.004 С2

ФЮРА.421000.004 СО1

ФЮРА.421000.004 Э3

ФЮРА.421000.004 С4

ФЮРА.421000.004 ВО

на отдельных листах

Схема структурная

Схема функциональная

Заказная спецификация

Схема принципиальная электрическая

Схема монтажная

Общий вид щита автоматизации



## Введение

На сегодняшний день вопросы ресурсоэффективности энергосбережения являются наиболее актуальными. В связи с этим во многих странах ведется разработка установок и реализация программ, направленных на снижение экологической нагрузки. Интерес к эмульгированным топливам стимулируется истощением запасов ископаемого топлива и необходимостью сокращения выбросов углекислого газа, способствующего изменению климата [1].

Активно проводятся исследования для создания технологий, способствующих минимизации расхода топлива, повышению динамики процесса горения, снижению антропогенных выбросов при сжигании, повышению полноты его выгорания, улучшению качества и в то же время удешевлению процесса подготовки и распыления топлива.

Для повышения эффективности топливных технологий рациональным способом решения указанной проблемы может стать дробление капель топлива до характерных размеров уровня десятков и сотен микрон. Однако эксперименты [2–4] показали, что дробление капель заранее является нецелесообразным из-за возможного вынесения их из камеры сгорания при малых скоростях движения или налипания на стенки. Поэтому в таком случае разумно дробление капель в камерах сгорания непосредственно в процессе распыления.

Образование капель путем распыления имеет особое значение в системах сжигания, поскольку большинство таких систем (двигатели внутреннего сгорания, промышленные печи) работают на жидком топливе, которое не может быть использовано до распыления, а также в системах пожаротушения и системах охлаждения. Кроме того, при распылении достигается более высокая поверхность жидкости к массе, что приводит к более высоким скоростям испарения, смешению топлива и воздуха и, следовательно, к повышению эффективности [5].

Теоретические и экспериментальные исследования процесса капельного горения топливной смеси широко проводились и проводятся с целью глубокого понимания связанных с этим физико-химических процессов [6–11]. Ожидается, что системы распыления в первую очередь будут генерировать желаемый размер капель, необходимый для эффективного горения. Помимо первичного измельчения капель (струя жидкости, выходящая из форсунки, начинает распадаться на капли) отмечают вторичное измельчение.

Наиболее простым способом реализовать вторичное измельчение является соударение капель друг с другом. В исследовании [12] была проведена серия экспериментов с целью определения влияния угла взаимодействия. Зависимость результатов столкновения от размеров капель, относительной скорости, плотности, вязкости жидкости и поверхностного натяжения была изучена в работе [13]. Экспериментальные результаты исследований [12, 13] ясно показывают, что даже самая простая схема вторичного измельчения начальных капель, сталкивающихся друг с другом, может обеспечить значительную фрагментацию. Это особенно важно в случае смешивания аэрозольных потоков.

Исследования [14, 15] показали, что такие безразмерные параметры, как число Вебера, линейный и угловой параметры, а также соотношение размеров капель, влияют на исход процесса столкновения бинарных капель. Кроме того, на динамику столкновения влияют также плотность, вязкость, поверхностное натяжение жидкости, структура и состав капель, их геометрическая форма. Именно поэтому размеры образующихся жидких фрагментов могут варьироваться в довольно широком диапазоне.

Цель данной работы – экспериментальное исследование бинарных столкновений капель композиционных топлив, а также разработка автоматической системы распыления и вторичного измельчения капель в камере сгорания.

## 1 Научно-исследовательская работа

Для решения проблем, связанных с минимизацией расхода топлива, повышением теплоты сгорания, снижением антропогенных выбросов, применяется первичное измельчение капель за счет форсунок и вторичное измельчение за счет пересечения факелов форсуночных устройств [16, 17]. Во всех технологиях, где используется распыление, важно прогнозировать параметры процесса распыления [18].

Для анализа полученных экспериментальных данных используются карты режимов взаимодействия. Они строятся с учетом углового или линейного параметра взаимодействия, а также числа Вебера [19, 20]. Экспериментальные исследования столкновений капель с целью их вторичного измельчения являются актуальными, так как теория, объясняющая переход между различными режимами при изучении взаимодействия капель, еще отсутствует.

Целью исследований является экспериментальное определение характеристик взаимодействия капель перспективных композиционных топлив и их измельчение в газовой среде.

### 1.1 Объекты и методы исследования

В качестве материалов при проведении экспериментальных исследований были использованы: вода и дизельное топливо. Выбор данной горючей жидкости обусловлен ее широким распространением в технологиях зажигания. Типичная концентрация дизельного топлива в перспективных технологиях составляет от 90 до 100%.

Свойства использованных в экспериментах жидкостей приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Свойства воды и дизельного топлива

Компонент	Начальная температура, °C	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Поверхностное натяжение, Н/м	Динамическая вязкость, Па·с
Вода	20	997	0,0727	0,0014
Дизельное топливо	20	820	0,0283	0,0029

На рисунке 1.1 представлена схема экспериментального стенда для регистрации соударений бинарных капель.

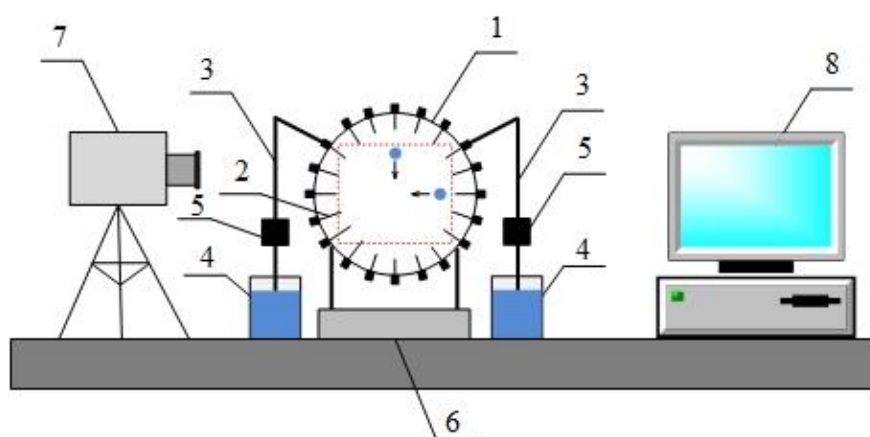


Рисунок 1.1 – Схема экспериментального стенда: 1 – дисковый элемент; 2 – устройства распыла жидкости; 3 – капилляры подачи жидкости; 4 – резервуары с жидкостью; 5 – насосы; 6 – резервуар сбора жидкости; 7 – высокоскоростная камера; 8 – персональный компьютер

С помощью данного стенда изучались условия взаимодействия капель с использованием двух генераторов капель. Их расположение позволяло реализовывать три схемы движения (встречно, сонаправленно, перекрестно) для варьирования углов соударения. Изучение столкновений капель осуществлялось с применением высокоскоростной видеорегистрации: использовалась высокоскоростная видеокамера Photron Fastcam Mini UX100 16GB (разрешение 1280×1024 пикселей, частота регистрации от 24 до 800000 кадров в секунду). Настройка области регистрации осуществлялась таким

образом, чтобы можно было детально проанализировать процесс столкновения капель (момент сближения, момент непосредственного взаимодействия, а также количество капель после дробления). Камера располагалась фронтально к области исследования. Такое расположение позволяло регистрировать процесс соударений без пространственных искажений, в то время как при расположении камеры сверху нет возможности достоверно определить угол столкновения капель, а в случае, когда камера расположена сбоку, появляется неточность в определении линейного параметра взаимодействия.

## 1.2 Методика обработки, регистрируемые и рассчитываемые параметры

Полученные видеogramмы обрабатывались с помощью программного обеспечения Photron Fastcam Viewer (PFV). Данная программа позволяла проводить анализ следующих параметров: форм капель, их размеров, скоростей, углов взаимодействия и расстояний.

С учетом потенциальных приложений результатов составлен перечень наиболее значимых факторов, которые влияют на исход соударения капель жидкости в газовой среде [21]:

- размеры (радиусы) капель  $R_1$  и  $R_2$ . Чтобы капля в процессе движения имела стабильную форму, значения размеров варьировались от 0 до 1 мм;
- скорость движения капель перед соударением  $U_1$  и  $U_2$ . Нижнее значение скорости соответствовало значению, при котором реализуется слияние капель, верхнее – при котором осуществляется устойчивое дробление капель, поэтому диапазон изменения скорости составил от 0 до 10 м/с;
- число Вебера  $We$ , характеризующее отношение сил инерции к силам поверхностного натяжения ( $We=2 \cdot \rho \cdot R \cdot U^2 / \sigma$ ). Этот параметр часто применяется для описания влияния скоростей движения и размеров капель на параметры взаимодействия. Можно выделить наиболее типичный диапазон

варьирования  $We$  – от 0 до 200. В этом диапазоне реализуются четыре основных режима взаимодействия: отскок, разлет, коагуляция, дробление;

- угол взаимодействия  $\alpha_d$ . Угловой параметр соударения рассчитывается, как косинус от угла взаимодействия. Варьирование значения угла между траекториями движения капель проводилось в диапазоне от 0 до  $90^\circ$ ;

- безразмерные параметры взаимодействия капель. Традиционно применяются два вида параметров взаимодействия: линейный  $B$  и угловой  $\beta$ . Угловой параметр рассчитывался по формуле  $\beta = \cos(\alpha_d)$ , а линейный с учетом расстояния между центрами масс  $B = b/(R_1 + R_2)$ . Типичный диапазон варьирования данных параметров: 0–1;

- отношение площади поверхности капли после взаимодействия к площади поверхности исходной  $S_1/S_0$  и среднее число новых капель  $N$ .

При проведении экспериментов контролировались размеры генерируемых капель, их скорости и углы столкновений. Схема регистрации параметров соударений показана на рисунке 1.2.

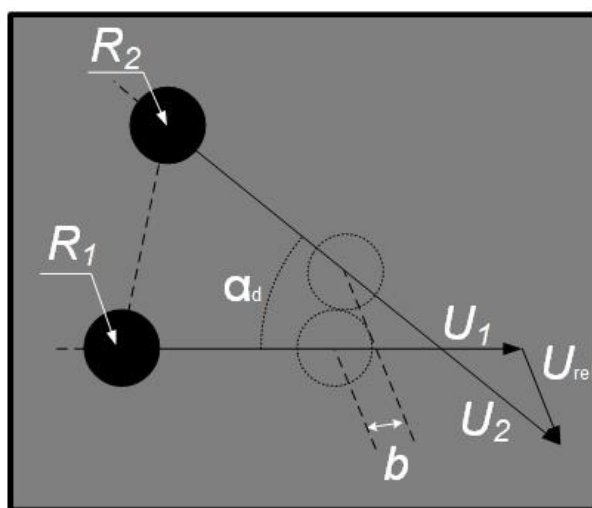


Рисунок 1.2 – Схема регистрации параметров взаимодействия

Систематические погрешности определения размеров и скоростей не превышали 1,6 % и 2,1 %. Максимальные случайные погрешности определения рассматриваемых размеров капель, углов столкновения и скоростей движения не превышали 2,1 %; 3,4 % и 2,3 % соответственно.

При анализе кадров видеogramм рассчитывались вероятности (как число соударений с соответствующими последствиями при идентичных параметрах к общему числу столкновений):  $P_1$  – коагуляция,  $P_2$  – разлет,  $P_3$  – дробление,  $P_4$  – отскок. Сумма вероятностей  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  составляла 1, так как учитывали все зарегистрированные столкновения (анализ совершался при обработке не менее 100 соударений капель при идентичных экспериментальных условиях).

### 1.3 Результаты исследований

Три ключевых фактора (размер, скорость движения и угол взаимодействия) оказывают наиболее сильное влияние на исход столкновения капель. Первые два традиционно рассматриваются в качестве числа Вебера. На рисунках 1.3 и 1.4 приведены графики, иллюстрирующие влияние указанных факторов на вероятность реализации одного из режимов взаимодействия. Данные графики позволяют выявить области параметров для обеспечения устойчивой коагуляции, отскока, разлета и дробления.

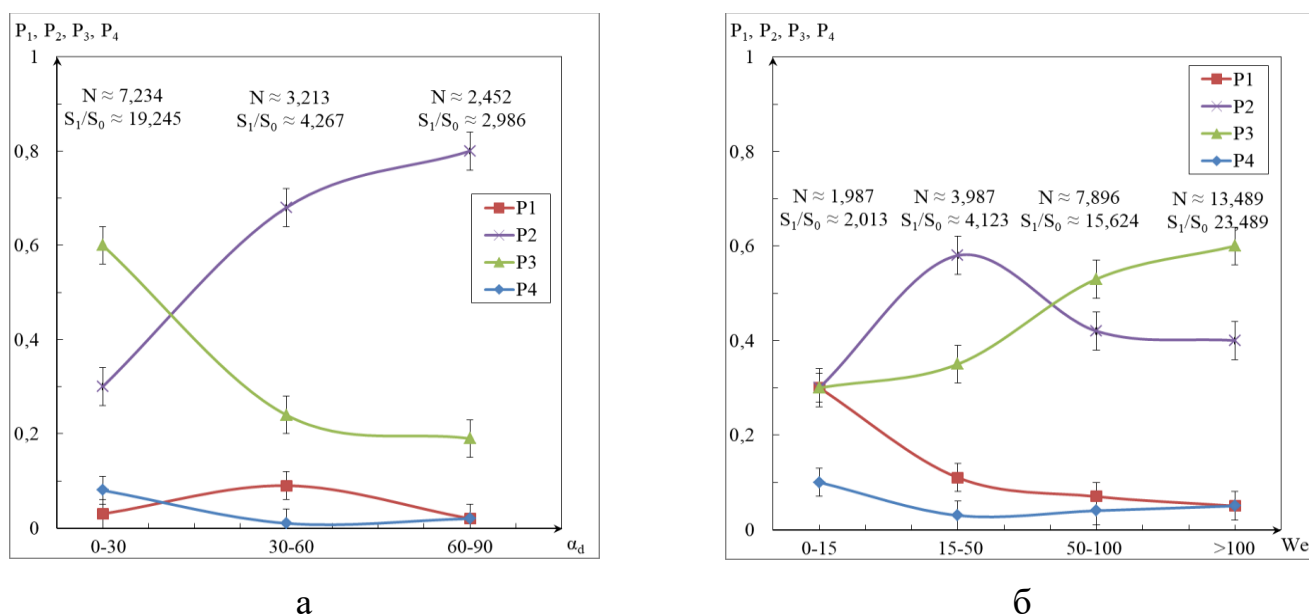


Рисунок 1.3 – Вероятности реализации каждого из четырех режимов взаимодействия капель ( $P_1$  – коагуляция,  $P_2$  – разлет,  $P_3$  – дробление,  $P_4$  – отскок) при изменении угла атаки (между траекториями полета) (а) и числа Вебера (б)

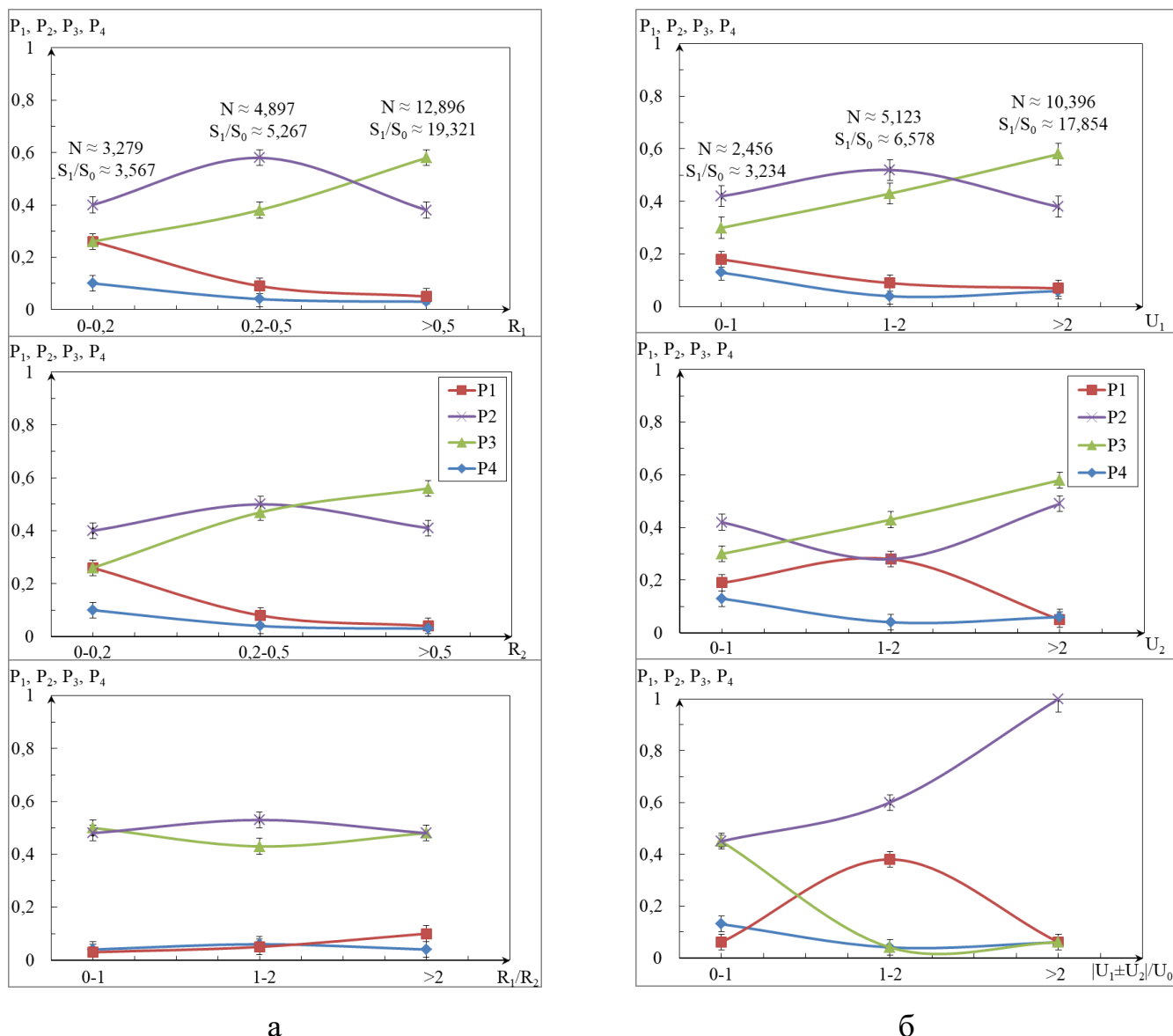


Рисунок 1.4 – Вероятности реализации каждого из четырех режимов взаимодействия капель ( $P_1$  – коагуляция,  $P_2$  – разлет,  $P_3$  – дробление,  $P_4$  – отскок) при изменении отношения их размеров (а) и относительной скорости движения перед соударением (б)

Установлены немонотонные зависимости значений  $P_1, P_2, P_3$  и  $P_4$  от соотношений размеров и скоростей перемещения капель. Выявлено, что с ростом числа Вебера число столкновений с последующим дроблением существенно возрастает. Это обусловлено определяющим влиянием импульса каждой капли на результат столкновения.

На рисунках 1.5 и 1.6 представлены карты режимов взаимодействия капель в координатах  $\beta(We)$  и  $B(We)$ . Они предназначены для иллюстрации



диапазонов варьирования ключевых характеристик, при которых реализуется устойчивый режим отскока, коагуляции, разлета или дробления. Число Вебера учитывает размер и скорость движения капли, линейный параметр – расстояние между центрами масс, а угловой параметр – угол взаимодействия. Данные карты показывают, что для обеспечения достоверного прогнозирования недостаточно рассматривать только диапазон изменения числа Вебера.

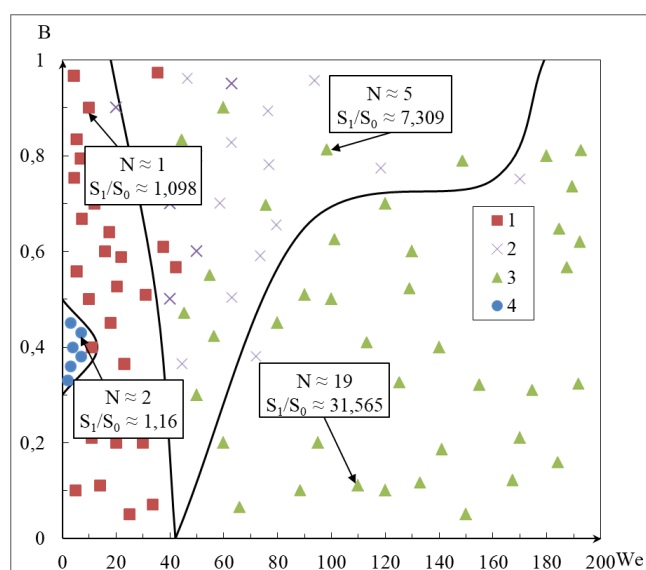


Рисунок 1.5 – Карта режимов взаимодействия с учетом безразмерного линейного параметра: 1 – коагуляция, 2 – разлет, 3 – дробление, 4 – отскок

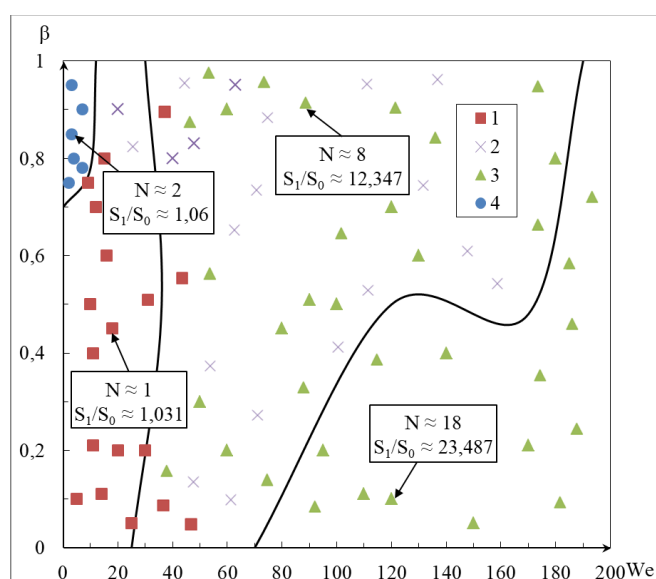


Рисунок 1.6 – Карта режимов взаимодействия с учетом безразмерного углового параметра: 1 – коагуляция, 2 – разлет, 3 – дробление, 4 – отскок

По данным рисунков 1.5 и 1.6 хорошо видно, что режим коагуляции преобладает практически во всем диапазоне  $\beta$  и  $B$  и  $We$  меньше 40, режим дробления – практически во всем диапазоне  $\beta$  и  $B$  и  $We$  больше 150. В диапазоне  $We$  от 30 до 120 может быть реализован один из трех режимов: дробление, разлет или коагуляция. Определяющее влияние оказывают значения  $\beta$  и  $B$ .

#### 1.4 Основные комментарии и заключения

I. Научная новизна исследований заключается в том, что при анализе полученных экспериментальных данных учитывалось влияние широкой группы факторов: отношения размеров, относительной скорости движения, угла взаимодействия, формы, размера, углового и линейного параметров, числа Вебера. Определено, что для полноценного анализа режимов столкновений помимо факторов, перечисленных выше влияющих на исход взаимодействия двух капель, необходимо учитывать свойства жидкости: плотность, вязкость и поверхностное напряжение. Полученные данные являются полезными как для развития первичного, так и вторичного распыления различных жидкостей.

II. На исход взаимодействия наиболее сильное влияние оказывали размер и скорость движения капель, а также линейный и угловой параметры. Классические карты режимов в координатах  $\beta(We)$ ,  $B(We)$  не позволяют с достаточной точностью описать диапазоны варьирования значений параметров для реализации устойчивого одного из режимов. Идентичные значения всех ключевых параметров не гарантировали определенный исход взаимодействия, так как во всех экспериментах регистрировались случаи не менее 2-3 режимов. Этот результат иллюстрирует вероятностный характер взаимодействия капель и последствий соударений.

III. Установлено, что при варьировании угла взаимодействия во всем диапазоне (от 0 до 90°) регистрируются соударения, завершающиеся полной или частичной фрагментацией (дроблением) капель. При этом хотя бы одна

из капель имела размер от 0,5 до 1 мм и скорость движения от 7 до 10 м/с. При значении числа Вебера больше 50 помимо дробления отмечены другие исходы взаимодействия, наиболее часто реализовывались разлет и коагуляция. Это объясняется тем, что при расчете числа Вебера не учитывается влияние угла столкновения и форма капель. При значении числа Вебера меньше 15 определены условия, при которых можно реализовать не только коагуляцию, а также разлет и дробление.

## 2 Разработка АСР расхода жидкого топлива в топочную камеру котельного агрегата

В качестве объекта автоматизации был выбран котельный агрегат ICI REX 300, предназначенный для нагрева воды, которая используется для горячего водоснабжения и отопления [22].

ICI Caldaie REX – стальной котел, предназначенный для работы с надувными горелками на жидком или газообразном топливе. Данный агрегат состоит из топки цилиндрической формы с реверсивным развитием факела и закрытым в задней части выпуклым днищем, поддерживаемым омываемым патрубком. Развитие пламени происходит до центральной части, горячие дымовые газы при этом возвращаются в переднюю часть топки, а далее поступают в пучок дымогарных труб.

В качестве изоляции используется стекловата высокой плотности, защита выполнена из легко демонтируемых окрашенных стальных панелей. Стальной лист является материалом для передней дверцы с реверсируемым открытием, которая также теплоизолирована фиброкерамикой.

Котел оборудован предохранительной и запорной арматурой, контрольно-измерительными приборами, их установка осуществляется согласно схеме расположения арматуры. Для обеспечения расчетных режимов, безопасных условий эксплуатации и управления работой котла. К функциям запорной арматуры относятся: отвод воды в тепловую сеть, подвод обратной воды, слив воды, выпуск воздуха, периодическая продувка и

удаление шлама. Водогрейный котел предназначен для тепловых сетей с температурой воды от 60 до 110 °С, а также комбинируется с многими видами горелочных устройств импортного и отечественного производства.

На рисунке 2.1 представлено устройство котла.

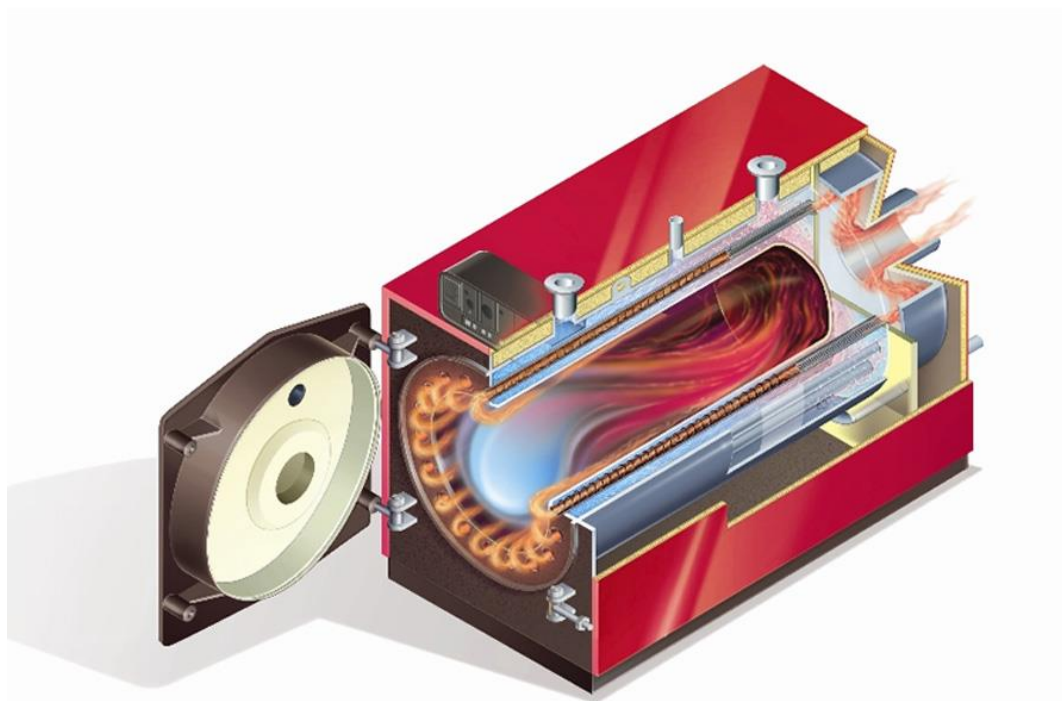


Рисунок 2.1 – Устройство котла ICI REX 300

Технические характеристики приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики котла ICI REX 300

Техническая характеристика	Значение
Расход условного топлива, кг/ч	244
Габаритные размеры, мм	1870x3480x2146
Тепловая мощность, кВт	3000
Температура уходящих газов, °С	186
Расход топлива, м <sup>3</sup> /ч	231
Расход теплоносителя среды, м <sup>3</sup> /ч	68
Вид топлива	Дизель

## Продолжение таблицы 2.1

Техническая характеристика	Значение
Низшая теплота сгорания топлива, кКал/кг	10200
Температура воды, °С	55...110
Давление рабочей среды, МПа	0,3...0,6

Задача регулирования технологического процесса котельного агрегата сводится, в основном, к необходимости поддержания материального и энергетического баланса, при котором он будет работать в стационарном режиме, для которого свойственно постоянство давлений, температур, уровней, расходов и других контролируемых параметров во времени.

Одна из основных задач, связанных с автоматизацией котлоагрегата – автоматическое регулирование экономичности процесса горения. На экономичность работы котлоагрегата в наибольшей степени влияет режим работы топки, т. е. организация процесса горения. При поступлении топлива в топку оно должно сгорать полностью. Потери тепла должны быть минимальными. Задача регулирования экономичности сводится к минимизации тепловых потерь, сопровождающих процесс горения топлива, и поддержанию максимального значения КПД котлоагрегата [23].

### 2.1 Выбор структуры автоматической системы регулирования

В данной работе регулирование расхода топлива осуществляется по расходу воды на выходе из котла и температуре в топке котлоагрегата. Таким образом будет поддерживаться баланс между количеством сжигаемого топлива и нагревом воды, т.е. в топке котла будет сгорать столько топлива, чтобы количество тепла, вырабатываемого котельным агрегатом, соответствовало количеству потребляемого тепла. Структура системы регулирования расхода топлива представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 С1.

Расходомер топлива  $ДР_1$ , расходомер воды  $ДР_2$ , преобразователь температуры ТЭП, термопреобразователь сопротивления ТПС, датчик давления ДД предоставляют контроллеру К данные о расходе топлива, расходе воды, температуре в топке и магистрали топливоподачи, давлении разрежения. Контроллер передает полученные данные на АРМ, а также вырабатывает управляющее воздействие и передает его на пусковое устройство ПУ, усиливающее сигнал для передачи на исполнительный механизм ИМ, который регулирует положение регулирующего органа РО.

К автоматической системе регулирования предъявляются следующие технические требования:

- система должна осуществляться сбор данных о текущем состоянии работы системы, об отклонении регулирования от необходимых значений;
- система должна базироваться на современных технических средствах автоматизации;
- технические средства, применяемые в системе, должны выполнять все необходимые функции, при этом должна учитываться экономичность создания системы;
- обеспечение максимальной надежности и безопасности;
- общие эргономические требования, которые регламентируют организацию рабочего места.

## 2.2 Разработка функциональной схемы АСР

Функциональная схема систем автоматизации технологических процессов представляет собой основной технический документ, который определяет структуру и характер систем, а также оснащения их приборами и средствами автоматизации. Объектом управления является совокупность основного и вспомогательного оборудования.

Задачи, которые должны быть решены при разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов:

- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- составление перечня контролируемых параметров технологического процесса;
- определение местоположения точек отбора измерительной информации;
- определение предельных рабочих значений контролируемых параметров.

Функциональная схема дает четкое представление о принципе ее работы и взаимодействии со средствами автоматизации. Технологическое оборудование и коммуникации изображаются упрощенно. Техническим средствам автоматизации присваиваются позиционные обозначения, содержащие цифру и строчную букву.

На технологических трубопроводах показывают регулирующую и запорную арматуру, непосредственно участвующую в работе системы автоматизации или необходимую для определения относительного расположения отборных устройств и первичных измерительных преобразователей.

Была разработана функциональная схема АСР расхода жидкого топлива в топочную камеру котельного агрегата. Схема представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 С2.

На первом этапе разработки функциональной схемы были определены измерительные каналы (1–5, 7) и каналы управления (6). Сигнал о величине разрежения в топке котла поступает в контроллер по каналу 3, о величине расхода воды к потребителю по каналу 5, а для передачи сигнала от термоэлектрических преобразователей, чувствительные элементы которых находятся в топке котла по каналу 2. По измеренным параметрам, температуре и расходу воды, осуществляется регулирование расхода эмульсионного топлива, измеряемого при помощи измерительного канала 4.

Для передачи информации о значениях температуры топлива используется унифицированный токовый сигнал, поступающий в контроллер от термопреобразователей сопротивления по каналу 1. Канал 7 передает на контроллер информацию о работе заслонки на топливопроводе. Контроллер формирует регулирующий сигнал, который поступает на пусковое устройство 4б, где сигнал усиливается и приводит в действие электрический привод исполнительного механизма.

На втором этапе разрабатывалась нижняя часть функциональной схемы. В этой части изображались приборы, установленные по месту и щит управления. В щите управления установлен контроллер.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403–80, условные обозначения запорной арматуры изображены по ГОСТ 2.785–70, первичные и функциональные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.208-2013.

### 2.3 Выбор технических средств и составление спецификации

При разработке АСР расхода топлива предпочтение отдавалось серийно выпускаемым отечественным техническим средствам автоматизации. При этом учитывались такие параметры как сочетаемость приборов, наличие унифицированных сигналов, взаимозаменяемость и легкость компоновки на щитовых конструкциях.

Выбор первичных измерительных преобразователей следует производить с учетом характеристики выходных сигналов первичных измерительных преобразователей, а также предельных значений измеряемых параметров, в диапазоне которых можно применять различные первичные измерительные преобразователи. Для упрощения работы оперативного и обслуживающего персонала и унификации применяемого оборудования для более быстрого и качественного технического обслуживания и ремонта, следует использовать минимальный набор технических средств,



устанавливаемых на щитах, для обеспечения выполнения требуемых функций.

### 2.3.1 Выбор датчиков температуры

В разрабатываемой автоматической системе регулирования расхода эмульсионного топлива регистрируется температура в топке котла и температура топлива перед топкой. Для измерения температуры топлива используется термопреобразователь сопротивления, а для регистрации температуры в топке используются никельхромкремний-никелькремниевые термопары.

Термопреобразователи сопротивления обладают рядом преимуществ:

- имеют высокую точность измерений, которая может достигать в некоторых случаях до 0,013 °С;
- при использовании трехпроводной и четырехпроводной схем подключения исключается влияние изменения сопротивлений линий связи на результат измерения;
- имеют практически линейную характеристику зависимости температуры от сопротивления.

Рассмотрены термопреобразователи сопротивления фирм «Метран» и «Элемер» для измерения температур топлива. Данные компании предлагают широкую линейку средств для измерения температуры как с унифицированными, так и с естественными выходными сигналами.

#### 1. Термопреобразователи сопротивления компании «Элемер»

Термопреобразователи предназначены для преобразования значения температуры в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА. Данные термопреобразователи выполнены в климатическом исполнении от минус 50 до 70 °С.

В таблице 2.2 представлены диапазоны измеряемых температур [24].

Таблица 2.2 – Диапазон измеряемых температур термопреобразователей сопротивления фирмы «Элемер»

Тип термопреобразователя	Диапазон температур
ТСМУ-205 (100М)	–50...50 °С, –50...100 °С, 0... 50 °С, 0...100 °С
	–50...150 °С, 0...150 °С, 0...180 °С, 0...200 °С
ТСПУ-205 (Pt100)	–50...50 °С, 0...100 °С
	0...200 °С
	0...300 °С, 0...400 °С, 0...500 °С

## 2. Термопреобразователи сопротивления компании «Метран»

Термопреобразователи сопротивления с медными и платиновыми чувствительными элементами позволяют измерять температуры жидких, газообразных, сыпучих сред в различных отраслях промышленности. Изготавливаются в климатическом исполнении для работы при температурах от минус 45 до плюс 60 °С.

В таблице 2.3 представлены диапазоны измеряемых температур [25].

Таблица 2.3 – Диапазон измеряемых температуры термопреобразователей сопротивления фирмы «Метран»

Тип термопреобразователя	Диапазон температур
Метран-203, Метран-204	–50...150 °С
Метран-205, Метран-206	–50...200 °С

## 3. Термoeлектрические преобразователи компании «Элемер»

Термопары ТП-2088 предназначены для измерения температуры разных сред, которые не вступают в химическую реакцию с защитным корпусом преобразователя. Рассмотрим метрологические характеристики (таблица 2.4) [24].

Таблица 2.4 – Номинальная статическая характеристика (НСХ) и класс допуска

НСХ	Класс допуска	Рабочий диапазон температур
ХА (К)	1	–40...850 °С
	2	–40...1250 °С
ХК (L)	2	–40...600 °С
ЖК (J)	1	–40...850 °С
	2	–40...750 °С

Выбраны ТПС фирмы «Элемер» для топлива типа ТСМУ-205 с НСХ 100М. Данные датчики температуры удовлетворяют предъявляемым требованиям: имеют достаточную точность измерения и приемлемую цену.

Для измерения температуры в топке рассмотрены характеристики нескольких термоэлектрических преобразователей, выпускаемых компаниями «Метран» и «Овен».

В таблице 2.5 приведены характеристики для термопар [25, 26].

Таблица 2.5 – Основные технические характеристики термоэлектрических преобразователей для измерения температуры в камере сгорания

Наименование	Тип	Диапазон измерения	Выходной сигнал	Класс допуска	Цена
Метран-288-Ехiа	НН (N)	-50...1200 °С	4...20 мА	2	от 12800 руб
Метран-2700	ПП (S)	-40...1200 °С	4...20 мА	2	от 15710 руб
Овен ДТПК 155	ХА (К)	-200...1200 °С	-	2	7155 руб

Выбран датчик типа Метран-288-Ехiа (длина монтажной части 100 мм), поскольку выходным сигналом данного датчика является унифицированный токовый сигнал, а также то, что он дешевле, чем Метран-2700. Овен ДТПК 155 является наиболее привлекательным с точки зрения цены, однако использование данного датчика требует установки измерительного преобразователя. Выберем 6 термопар типа Метран-288-Ехiа.

### 2.3.2 Выбор преобразователя давления

Датчики давления предназначены для непрерывного преобразования абсолютного, дифференциального, избыточного давления, избыточного давления-разрежения и разности давлений в унифицированный токовый сигнал или цифровой сигнал в стандарте протокола HART. По принципу преобразования давления в электрический сигнал датчики давления делятся на:

- 1) тензометрические;
- 2) пьезометрические;
- 3) емкостные;
- 4) резонансные;
- 5) индуктивные;
- 6) ионизационные;
- 7) пьезоэлектрические.

Принцип преобразования давления в электрический сигнал влияет на пределы измерения, динамические и частотные диапазоны, точность и условия эксплуатации.

Рассмотрены два преобразователя давления Элемер-100 ДВ [24] и Метран-150 [25]. Датчики давления Элемер-100 ДВ представляют собой преобразователи давления с измерительной мембраной из нержавеющей стали. Данные датчики обладают повышенной точностью измерения (от  $\pm 0,5$  % верхнего предела измерения), устойчивостью к гидроударам и низким выходным шумом, значение которого составляет не более  $\pm 16$  мкА.

Основные технические характеристики общепромышленного преобразователя Элемер-100 ДВ:

- 1) верхний предел измеряемого давления (ВПИ) – от 0,04 кПа до 100 кПа;
- 2) преобразование давления в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА;

3) измерение избыточного давления нейтральных к нержавеющей стали AISI 316L сред (газы, пар, вода, слабоагрессивные жидкости);

4) перегрузочная способность не менее – 200 % ВПИ;

5) степень защиты корпуса и электроразъема преобразователя – IP65.

Датчики давления серии Метран-150 позволяют непрерывно преобразовывать значения давления в унифицированный токовый выходной сигнал или цифровой сигнал в стандарте HART протокола. Датчик давления имеет герметичный корпус, состоящий из двух секций, и морозостойкий ЖК-дисплей. К преимуществам можно отнести высокую перегрузочную способность, защиту от переходных процессов и функцию непрерывной самодиагностики.

Основные технические характеристики датчика избыточного давления Метран-150:

1) выходной сигнал – 4...20 мА или HART 0...5 мА;

2) максимальное давление – 1 МПа;

3) давление перегрузки – 10 МПа;

4) температура окружающей среды – от -40 до 85 °С;

5) температура измеряемой среды – от -40 до 120 °С.

Оба преобразователя давления имеют характеристики, удовлетворяющие техническим требованиям. Исходя из этого, выбран датчик Элемер-100 ДВ, так как он имеет меньшую стоимость.

### 2.3.3 Выбор технических средств измерения расхода

Для измерения количества сжигаемого топлива в топке котла необходимо установить расходомер в магистрали подачи топлива. Датчики расхода работают по разному принципу и имеют разные характеристики. В данном проекте рассмотрены 3 расходомера, работающих по разному принципу:

– электромагнитный расходомер фирмы «Endress+Hauser» типа Promag 53P;

– кориолисовый расходомер фирмы «Endress+Hauser» типа Proline Promass 80F;

– ультразвуковой расходомер фирмы «Эй-Си Электроникс» типа US800.

Технические характеристики электромагнитного расходомера типа Promag 53P представлены в таблице 2.6 [27].

Таблица 2.6 – Технические характеристики электромагнитного расходомера типа Promag 53P

Наименование характеристик	Значение
Токовый выход	0...20 или 4...20 мА
Импульсный частотный выход	Верхнее значение частоты 2...1000 Гц
Интерфейс	RS-485, MODBUS
Питание	220 В АС или 24 В DC
Потребляемая мощность	15 Вт
Нормальные рабочие условия	Температура среды: +80 °С
Предел допускаемой относительной погрешности	±0,2 %
Измерение расхода	До 9600 м <sup>3</sup> /ч

Технические характеристики кориолисового расходомера типа Proline Promass 80F представлены в таблице 2.7 [27].

Таблица 2.7 – Технические характеристики расходомера Proline типа Promass 80F

Наименование характеристик	Значение
Токовый выход	4...20 мА
Питание	220 В АС или 24 В DC
Потребляемая мощность	15 Вт

Продолжение таблицы 2.7

Наименование характеристик	Значение
Диапазон измерения	До 3200 т/ч
Предел допускаемой относительной погрешности	$\pm 0,15 \%$
Рабочая температура	$-50 \dots 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Рабочее давление	0...300 бар

Технические характеристики ультразвукового расходомера типа US800 представлены в таблице 2.8 [28].

Таблица 2.8 – Технические характеристики ультразвукового расходомера фирмы «Эй-Си Электроникс» типа US-800

Наименование характеристик	Значение
Токовый выход	4...20 мА
Питание	24 В
Потребляемая мощность	17 Вт
Диапазон измерения	До 6500 м <sup>3</sup> /ч
Предел допускаемой относительной погрешности	$\pm 1 \%$
Рабочая температура	$-40 \dots 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Интерфейс	RS-485

Анализ технических характеристик преобразователей расхода показал, что расходомер фирмы «Эй-Си Электроникс» типа US-800 подходит для системы по диапазону рабочих температур и классу точности. Цена данного расходомера составляет 42500 руб.

### 2.3.4 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства используется контроллер. В данной работе рассматривались 3 контроллера от различных производителей, таких как: «ОВЕН»; «ВЭСТ»; «Siemens». Для реализации задачи необходимо 10 аналоговых входов для регистрации параметров температуры, расхода и давления. Также необходимо учитывать цену контроллера. Проведено сравнение характеристик контроллеров этих производителей. Рассмотрен ПЛК фирмы «Siemens», цена которого составляет 49600 рублей. Исполнение контроллера блочно-модульное. Характеристики S7-200 приведены в таблице 2.9 [29].

Таблица 2.9 – Характеристики контроллера S7-200

Наименование характеристик	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP	CPU 226
Объем памяти программ (EEPROM), КБ (вкл/выкл редактирование в режиме RUN)	4		8/12	12/16	16/24
Объем памяти данных, КБ	2		8	10	
Время выполнения инструкций	0,2 мкс				
Арифметика с плавающей запятой	Поддерживается				
ПИД-регулирование	Поддерживается				
Скоростной счет, кГц	4х30		6х30	4х30+2х200	6х30
Импульсные выходы, кГц	2х20			2х100	2х20
Количество таймеров/ счетчиков/ флагов	256/256/256				
Кол-во встроенных портов RS-485	1			2	



Продолжение таблицы 2.9

Наименование характеристик	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP	CPU 226
Кол-во встроенных входов-выходов	6 DI + 4 DO	8 DI + 6 DO	14 DI + 10 DO	14 DI + 10 DO 2 AI + 1 AO	24 DI + 16 DO
Кол-во модулей расширения, не более	-	2	7		
Макс. кол-во входов-выходов системы	6 DI + 4 DO	40 DI + 38 DO; 8(0)AI + 2(4)AO	94 DI + 74 DO; 28(0)AI+7 (1 4)AO	94 DI + 74 DO; 30(2)AI + 8(15)AO	128 DI + 120 DO; 28(0)AI + 7(14)AO
Выходной ток встроенного блока питания	180 мА		280 мА		400 мА

Регулятор ВЭСТ-02 предназначен для создания систем управления малыми и средними объектами. Регулятор может быть запрограммирован по определенному сценарию. Например: тепловой пункт, тепловая завеса, вентиляция. Конфигурируются сценарии в программе, разработанной НПО ВЭСТ, АКИАР. Среди преимуществ ВЭСТ-02 можно выделить поддержку интерфейсов RS-232 и RS-485, возможность подключения GSM/GPRS модемов, интернет-коммуникаторов, преобразователей и конвертеров, возможность создания архива данных и интегрирования в существующую АСУ ТП с конвертацией протокола обмена данными. Областью применения ВЭСТ-02 являются тепловые пункты, системы вентиляции, водогрейные котельные, водопроводные насосные станции и насосные станции пожаротушения, а также системы дымоудаления и диспетчеризации. Технические характеристики представлены в таблице 2.10 [30].

Таблица 2.10 – Технические характеристики контроллера ВЭСТ-02

Наименование характеристик	Значение
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	3 ВА
Диапазон контроля температур	-50...+150 °С
Тип входных датчиков температуры	Pt1000
Аналоговых входов	8 шт.
Цифровых входов	5 шт.
Симисторных выходов	6 шт.
Аналоговых выходов 0...10 В	2 шт.
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
Интерфейс связи	RS-232, RS-485
Масса прибора	350 г

Контроллер фирмы «ОВЕН» имеет наименьшую цену (13200 рублей), а также встроенный источник питания. Имеется возможность управлять технологическим процессом непосредственно с лицевой панели контроллера с помощью встроенного текстового монохромного дисплея – для конфигурирования вывода и задания значения параметров программы, информации о ходе процесса и сигнализации и 9 кнопок управления – для управления индикацией задания значения параметров.

Встроенная батарея бесперебойного питания позволяет выполнять программу при потере питания и переводить выходные элементы в безопасное состояние.

Имеются универсальные входы для подключения широкого спектра датчиков и встроенные интерфейсы RS – 485, RS – 232 [26]. В таблице 2.11 приведена сравнительная характеристика контроллеров.

Таблица 2.11 – Технические характеристики контроллеров

Наименование характеристик	ОВЕН 63	ВЭСТ-02	SIMATIC-S7-200
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц; 24 В	~220 В, 50 Гц	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, для переменного тока, ВА	18	3	12
Выходное напряжение, В	24±3	–	24±3
Количество дискретных входов	8	8	6
Количество аналоговых входов	8	5	6
Разрядность АЦП, бит	15	15	15
Среда программирования	Xcos	Xcos	Step7
Цена, руб.	12514	13990	13372

Контроллер фирмы «ОВЕН» подходит для реализации поставленной задачи, так как за наименьшую стоимость имеет необходимые характеристики. Для реализации автоматической системы регулирования необходимо 10 аналоговых входов в контроллер. Выбранный ПЛК имеет 8 аналоговых входов. Для увеличения количества входов установим модуль аналоговых сигналов фирмы «ОВЕН» MB110-8A. Технические характеристики представлены в таблице 2.12 [26].

Таблица 2.12 – Технические характеристики модуля MB110-8A

Наименование характеристик	Значение
Напряжение питания	24 В
Потребляемая мощность	6 ВА
Количество аналоговых входов	8
Интерфейс связи с компьютером	RS-485

Продолжение таблицы 2.12

Наименование характеристик	Значение
Степень защиты	IP20
Габаритные размеры	63×110×75

Для подключения к контроллеру модуля ввода аналоговых сигналов используется интерфейс RS-485. Цена MB110-8A составляет 7080 руб. Модуль MB110-8A питается от источника постоянного напряжения 24 В. Выбран блок питания БП 906/24-2, цена которого составляет 2300 рублей.

### 2.3.5 Выбор исполнительного механизма

Однооборотные электроприводы МЭО используются для передачи крутящего момента арматуре при ее повороте на один оборот или менее. Запорно-регулирующая арматура приводится в действие с помощью механизмов МЭО в соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств. Механизмы МЭО выполняют функции автоматического открытия и закрытия арматуры, указания степени открытия арматуры на шкале местного указателя, позиционирование рабочего органа арматуры в любом промежуточном положении, формируют дискретные сигналы о промежуточных и конечных положениях рабочего органа арматуры. Цифровые сигналы передаются по интерфейсу RS-485. Электроприводы МЭО могут работать в экстремальных условиях: при повышенных температурах, запыленности и сильной вибрации. Для выбора исполнительного механизма для привода задвижки на трубопроводе воспользуемся формулой:

Максимальный крутящий момент вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 80 - 338 = 213 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $D_y$  – условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе учитывалось условие:

$$M_H > M_{\max},$$

где  $M_H$  – номинальный крутящий момент на выходном валу ИМ, Н·м.

Выбран ИМ типа МЭО-250/25-0,25-Р-99 [31]. Данный исполнительный механизм снабжен датчиком положения выходного вала и функцией ручного управления. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от сети переменного тока 220 В. Потребляемая мощность 240 Вт. Цена составляет 19000 рублей.

### 2.3.6 Выбор блока управления исполнительным механизмом

В качестве блока управления используются блоки БУЭР. Бесконтактное управление электрическими исполнительными механизмами (ЭИМ) типа МЭО-6,3...МЭО-4000, МЭОФ-1,6... МЭОФ-4000, МЭМ-6,3..., МЭМ-160, МЭПК200..., МЭП-25000) осуществляется с помощью блоков управления электродвигателями реверсивными (БУЭР).

Выбран блок БУЭР 1-30-02 [32]. Он выполняет управление электрическим исполнительным механизмом (ЭИМ) с однофазным электродвигателем по командам, получаемым по резервированному цифровому каналу.

Функции блока управления:

- управление электродвигателем (пуск, реверс, остановка);
- самодиагностика;
- диагностика ЭИМ;
- защита силовых ключей от короткого замыкания;
- защита от перегрузки по току.

Выбранные технические средства автоматизации, описанные в данном разделе, представлены в заказной спецификации, представленной на листе с шифром ФЮРА.421000.004 СО1.

### 3 Разработка принципиальной электрической схемы автоматической системы регулирования

Принципиальные схемы являются основанием для разработки монтажных чертежей, проведения пусконаладочных работ и квалифицированной эксплуатации этих узлов, устройств и систем электрического принципа действия. Эти схемы также отображают принцип действия системы. Принципиальная электрическая схема выполняется с применением условных графических изображений.

На принципиальной схеме изображают электрические элементы или устройства, предназначенные для контроля и осуществления в изделии заданных электрических процессов, электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи. Принципиальные схемы имеют код ЭЗ.

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений.

В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1 – 99, для цепей питания 100 – 200.

В правой части схемы изображен блок контроллера А1. Цепь питания контроллера подключена к клеммному блоку ХТ1. Также к клеммному блоку ХТ1 подключены блоки питания G1 и G2. Блок контроллера А1, блоки питания G1 и G2 питаются от щита питания с напряжением 220 В. Блок питания G1 предназначен для питания датчиков температуры и давления. Блок питания G2 предназначен для питания исполнительного механизма. С помощью клеммных блоков ХТ2 и ХТ3 датчики соединяются с модулями гальванического разделения токовой петли В1-В9, выходные сигналы с которых поступают в блок контроллера А1. Подключение осуществлено в соответствии с требованием производителя, производится с помощью прецизионных резисторов R1-R12, сопротивление которых 500 Ом. БУЭР 1-

30-02 соединен с помощью клеммного блока ХТ4 с блоком контроллера А1 через интерфейс RS-485. Для увеличения входных аналоговых сигналов установлен модуль (А1.1) МВ110–8А фирмы «ОВЕН». Связь контроллера А1 с блоком А1.1 происходит с помощью интерфейса RS-485. Блок контроллера с помощью интерфейса RS-232 и преобразователя интерфейса RS-232/Ethernet соединен с АРМ оператора.

Электропитание всех технических средств осуществляется от распределительного щита питания переменным напряжением 220 В, 50 Гц.

Схема принципиальная электрическая представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 ЭЗ.

#### 4 Разработка монтажной схемы автоматической системы регулирования

Монтажная документация предназначена для выполнения монтажных работ. Эту документацию также используют в процессе эксплуатации, наладке, ремонте и выполнении профилактических работ.

Монтажные схемы показывают, каким образом соединены между собой клеммы или выводы технических средств, расположенных: на конструкции и за ее пределами.

В данной работе необходимо разработать монтажную схему автоматизированной системы регулирования расхода жидкого топлива, для этого нужно выполнить следующие этапы:

- 1) нанести на монтажную схему условные изображения технических средств автоматизации;
- 2) выбрать проводки для соединения технических средств;
- 3) произвести нумерацию проводников;
- 4) выполнить подключение средств измерения и управления в шкаф автоматизации.

Размещенная таблица в верхнем поле чертежа, поясняет расположение датчиков на оборудовании системы и технологических трубопроводов.

Щит автоматизации изображается условно в виде прямоугольника, в котором показываются блоки зажимов и подключение к ним кабеля.

Результатом проектирования внешних и внутренних электрических и трубных проводок является монтажная документация, необходимая и достаточная для прокладки трубных и электропроводок, коммутации жил к техническим средствам автоматизации, а также для проверки и ввода в эксплуатацию проводок.

Для линий питания выбираем кабели с сечением алюминиевых жил 2,5 мм<sup>2</sup> типа АКРВБГ, которые имеют броню из двух стальных оцинкованных лент, а также оболочку из резины, не распространяющей горение. Такой кабель предназначен для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств с номинальным переменным напряжением до 660 Вольт частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1000 Вольт.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 4.1 [33].

Таблица 4.1 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСР

№ линии	Марка	Кол-во жил	Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>
11	АКРВБГ	4	2,5
17	АКРВБГ	7	2,5
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	ВВГ	2	0,75
12, 13, 14	КРВГ	4	1
16	КРВГ	27	1
15	КИПЭВ	2	0,6

Для кабелей, протянутых на большие расстояния, необходимо использовать защиту. В качестве защиты применяются стальные электросварные тонкостенные трубы по ГОСТ 10704-91. Защитные трубы



для кабелей линий питания не выбираются, так как они изначально бронированные.

На входе в щит автоматизации установлены клеммные блоки ХТ2-ХТ4, в которые входят проводки, предающие унифицированный сигнал от:

- 1) термопар;
- 2) термопреобразователя сопротивления;
- 3) расходомера, установленного на магистрали подачи топлива;
- 4) расходомера, установленного на магистрали подачи воды к потребителю;
- 5) датчика давления.

Все выше перечисленные технические средства подключаются сначала к соединительной коробке КСК-30 с помощью кабелей КРВГ 4×1, а далее собираются в единые кабели КРВГ 27×1, который уже подключается в щит автоматизации. Также в щите расположен клеммный блок питания 220 В ХТ1. Для связи контроллера с блоком управления используются кабели симметричной парной скрутки, использующиеся для связи по интерфейсу RS485, КИПЭВ 1х2х0,6 в общем экране из алюмолавсановой ленты с контактным проводником. Кабель соответствует строгим требованиям пожарной безопасности, не поддерживает горение при условии одиночной прокладки.

Схема монтажная внешних электрических проводов представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 С4.

## 5 Разработка чертежа общего вида щита управления

Щиты систем автоматизации служат для установки средств контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты и блокировки, линий связи между ними.

Щиты располагают в производственных и специальных щитовых помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации.

Для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования был выбран щит шкафной малогабаритный (ЩШМ), при этом учитывались конструктивные особенности, включая степень защиты от прикосновения к токоведущим частям.

Для оперативного контроля за ходом технологического процесса размещаются в необходимом и достаточном количестве на щите контроллер и сборки зажимов.

В данном случае для размещения средств автоматизации используется щит с задней дверью одиночный, высотой 600 мм, шириной 400 мм и глубиной 250 мм – ЩШМ 600x400x250 [34]. Переднюю сторону щита разбивают на два функциональных поля. Разбивка выполняется на основании рационального распределения приборов, органов управления и сигнальной арматуры.

На чертеже общего вида щита представлен вид спереди, вид на внутренние плоскости, также составлен перечень составных частей.

Блок контроллера А1 рассчитан на монтаж на DIN-рейке на вертикальной панели щита управления, а также модуль аналоговых входов А1.1 и блок питания G2. В нижней части панели щита расположен блок питания G1. На левой стенке расположены клеммные зажимы ХТ1-ХТ4 и модули гальванического разделения токовой петли В1-В9.

Чертеж общего вида щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.004 ВО.

## 6 Расчет параметров настройки регулятора

### 6.1 Идентификация объекта управления

Идентификация объекта управления предназначена для получения математической модели объекта управления. В инженерной практике применяют активную идентификацию. При активной идентификации на объект подаются заранее известные возмущающие воздействия, и регистрируется выходная величина.

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения расхода топлива в камеру сгорания, составленная на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. Кривая разгона приведена на рисунке 6.1.

На полученной кривой разгона определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени; время запаздывания; коэффициент передачи [35].

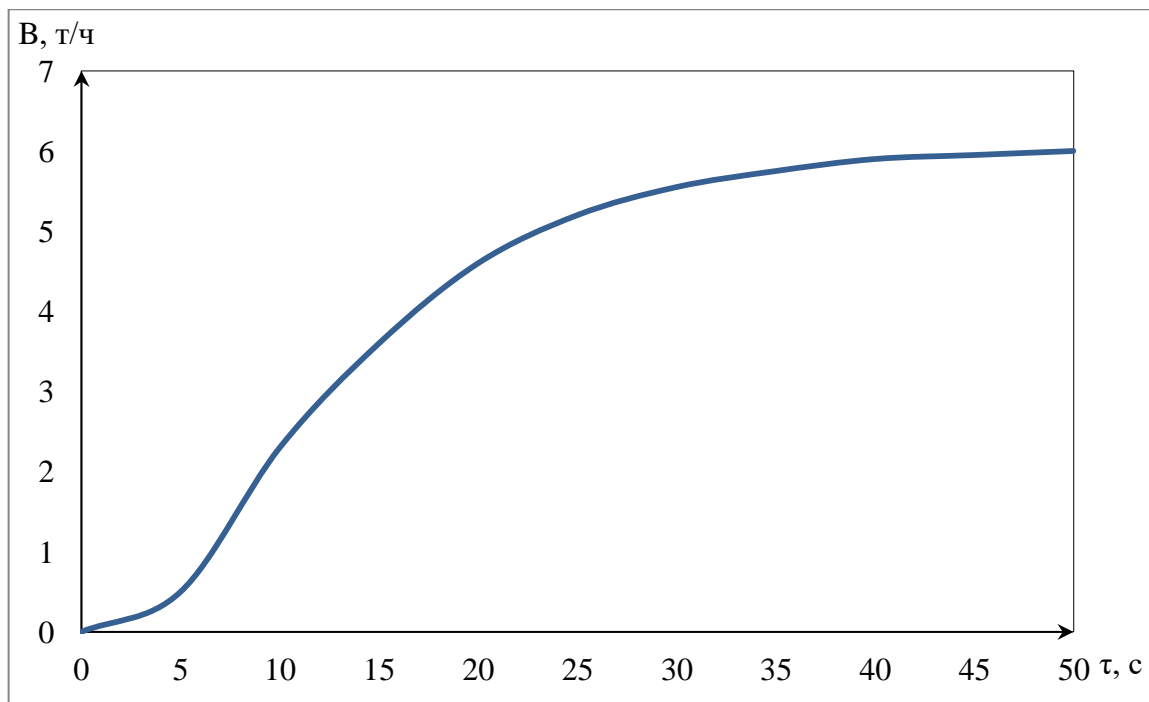


Рисунок 6.1 – Кривая разгона объекта управления

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP + 1)} e^{-P\tau}, \quad (6.1)$$

где  $k$  – коэффициент усиления;

$P$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – время запаздывания;

$T$  – постоянная времени.

На графике кривой разгона проводится касательная в максимальной точке скорости изменения величины (рисунок 6.2).

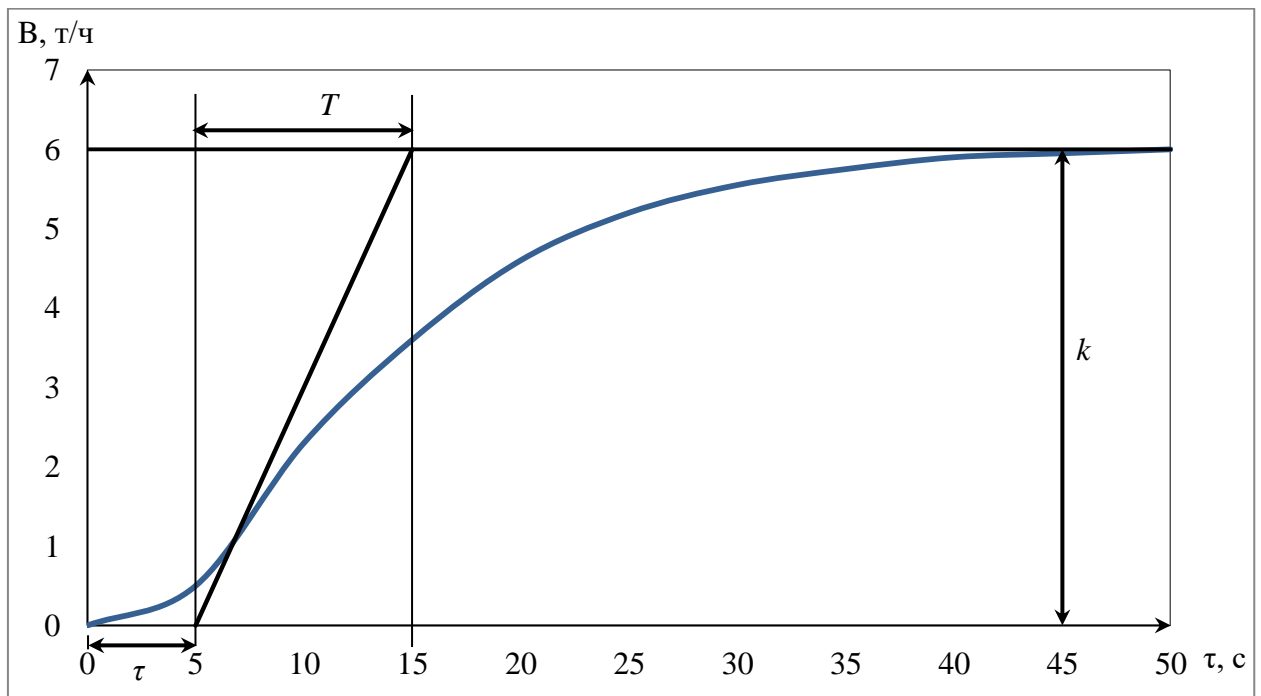


Рисунок 6.2 – Кривая разгона объекта управления

По графику определяются динамические параметры объекта:

- коэффициент усиления  $k = 6$  т/ч;
- время запаздывания  $\tau = 5$  с;
- постоянная времени  $T = 10$  с.

Тогда передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{6}{(10P + 1)} e^{-5P}.$$

## 6.2 Расчет параметров настройки регулятора

Структурная схема системы регулирования приведена на рисунке 6.3.

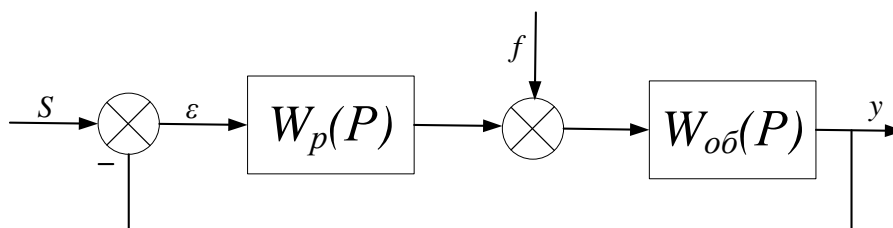


Рисунок 6.3 – Структурная схема системы регулирования

Расчет системы производится для степени устойчивости равной  $\psi = 0,9$ .

Значение заданной степени колебательности  $m$  системы в зависимости от степени затухания определяется по формуле [36]:

$$m = -\frac{\ln(1 - \psi)}{2 \cdot \pi} = -\frac{\ln(1 - 0,9)}{2 \cdot \pi} = 0,366. \quad (6.2)$$

Расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 6.1 в виде листинга расчета для диапазона частот от 0 до  $0,35 \text{ с}^{-1}$  с шагом по частоте  $0,01 \text{ с}^{-1}$ .

Таблица 6.1 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(\text{m}, \omega)$	$\text{Im}_{об}(\text{m}, \omega)$	$A_{об}(\text{m}, \omega)$
0	6,000	0,000	6,000
0,01	6,235	-0,964	6,309
0,02	6,246	-2,018	6,564
0,03	6,000	-3,086	6,748
0,04	5,500	-4,080	6,848
0,05	4,786	-4,920	6,864
0,06	3,927	-5,555	6,803
0,07	2,999	-5,966	6,677
0,08	2,070	-6,167	6,505
0,09	1,193	-6,189	6,303
0,10	0,396	-6,072	6,085
0,11	-0,307	-5,854	5,862
0,12	-0,915	-5,568	5,642
0,13	-1,431	-5,238	5,430
0,14	-1,866	-4,885	5,229

Продолжение таблицы 6.1

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{o6} (m, \omega)$	$\text{Im}_{o6} (m, \omega)$	$A_{o6} (m, \omega)$
0,15	-2,228	-4,521	5,041
0,16	-2,529	-4,156	4,865
0,17	-2,776	-3,796	4,703
0,18	-2,977	-3,445	4,553
0,19	-3,139	-3,104	4,415
0,20	-3,268	-2,775	4,288
0,21	-3,369	-2,459	4,171
0,22	-3,445	-2,155	4,063
0,23	-3,499	-1,864	3,965
0,24	-3,535	-1,585	3,874
0,25	-3,554	-1,317	3,790
0,26	-3,559	-1,060	3,713
0,27	-3,550	-0,813	3,642
0,28	-3,530	-0,577	3,577
0,29	-3,449	-0,350	3,517
0,30	-3,459	-0,132	3,461
0,31	-3,409	0,077	3,410
0,32	-3,351	0,278	3,363
0,33	-3,286	0,470	3,319
0,34	-3,213	0,655	3,279
0,35	-3,134	0,831	3,242

Далее производится расчет параметров настройки ПИ-регулятора. ПИ-регулятор является наиболее используемым на практике. К преимуществам данного регулятора можно отнести:

- 1) обеспечение нулевой статической ошибки регулирования;
- 2) простоту в настройке, так как настраиваются только два параметра: коэффициент усиления  $K_p$  и постоянная интегрирования  $T_{и}$ ;
- 3) обеспечение управления с минимально возможной среднеквадратичной ошибкой регулирования.

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{ог}(m, \omega)}{A_{ог}^2(m, \omega)}; \quad (6.3)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot Im_{ог}(m, \omega) + Re_{ог}(m, \omega)}{A_{ог}^2(m, \omega)}, \quad (6.4)$$

где  $K_p$  – коэффициент передачи,

$T_u$  – постоянная интегрирования.

Параметры настройки ПИ-регулятора представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Значение параметров ПИ-регулятора

$\omega, c^{-1}$	$K_p/T_u$	$K_p$
0	0,0000	-0,167
0,01	0,0003	-0,149
0,02	0,0010	-0,129
0,03	0,0023	-0,109
0,04	0,0039	-0,088
0,05	0,0058	-0,066
0,06	0,0080	-0,045
0,07	0,0104	-0,022
0,08	0,0129	0,000
0,09	0,0156	0,022
0,10	0,0183	0,044
0,11	0,0208	0,066
0,12	0,0234	0,087
0,13	0,0257	0,108
0,14	0,0278	0,128
0,15	0,0297	0,147
0,16	0,0312	0,166
0,17	0,0324	0,183
0,18	0,0332	0,199
0,19	0,0336	0,215
0,20	0,0336	0,229
0,21	0,0330	0,241
0,22	0,0319	0,252
0,23	0,0303	0,262
0,24	0,0282	0,271
0,25	0,0255	0,278
0,26	0,0222	0,284
0,27	0,0184	0,288
0,28	0,0140	0,291

Продолжение таблицы 6.2

$\omega, \text{с}^{-1}$	$K_p/T_u$	$K_p$
0,29	0,0091	0,292
0,30	0,0036	0,292
0,31	-0,0022	0,291
0,32	-0,0087	0,288
0,33	-0,0156	0,284
0,34	-0,0230	0,278
0,35	-0,0308	0,272

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 6.4. Полученная кривая на рисунке является линией для степени затухания равной 0,9. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

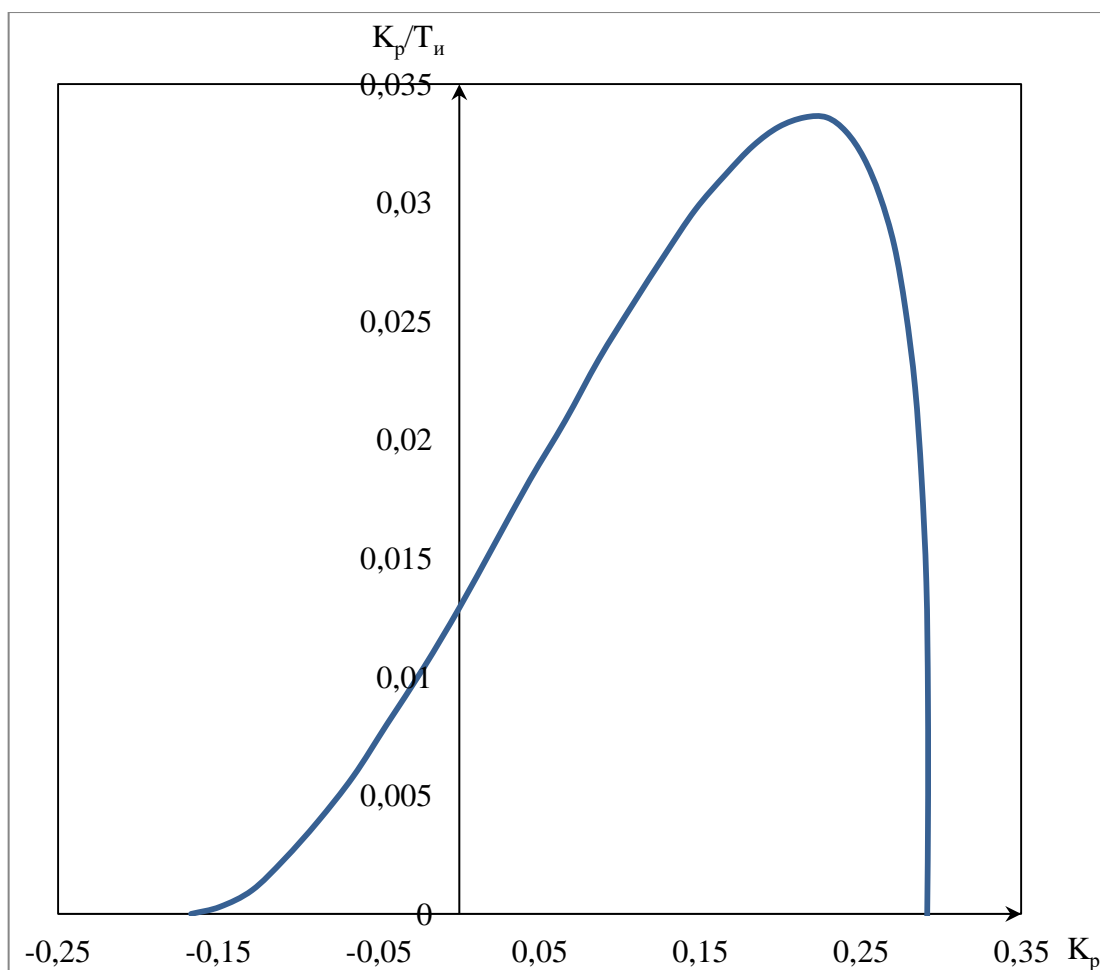


Рисунок 6.4 – Граница заданного запаса устойчивости



Критерием качества является первая интегральная оценка. Минимуму данной интегральной оценки соответствует точка максимума отношения  $K_p/T_u$  на границе заданного запаса устойчивости.

По таблице определяются необходимые значения:

- максимум отношения параметров ПИ-регулятора  $\max \left( \frac{K_p}{T_u} \right) = 0,0366$ ;
- коэффициент передачи  $K_p = 0,229$ ;
- резонансная частота  $\omega = 0,2 \text{ с}^{-1}$ .

Значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{\left( \frac{K_p}{T_u} \right)} = \frac{0,229}{0,0366} = 6,257 \text{ с.} \quad (6.5)$$

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(P) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_u P} \right) = 0,299 + \left( 1 + \frac{1}{6,257P} \right). \quad (6.6)$$

Производится оценка качества переходного процесса в замкнутой системе по каналу регулирующего воздействия.

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (6.7)$$

где  $W_{об}(P)$  – передаточная функция объекта;

$W_p(P)$  – передаточная функция регулятора.

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 6.5 представлен график вещественной частотной характеристики.

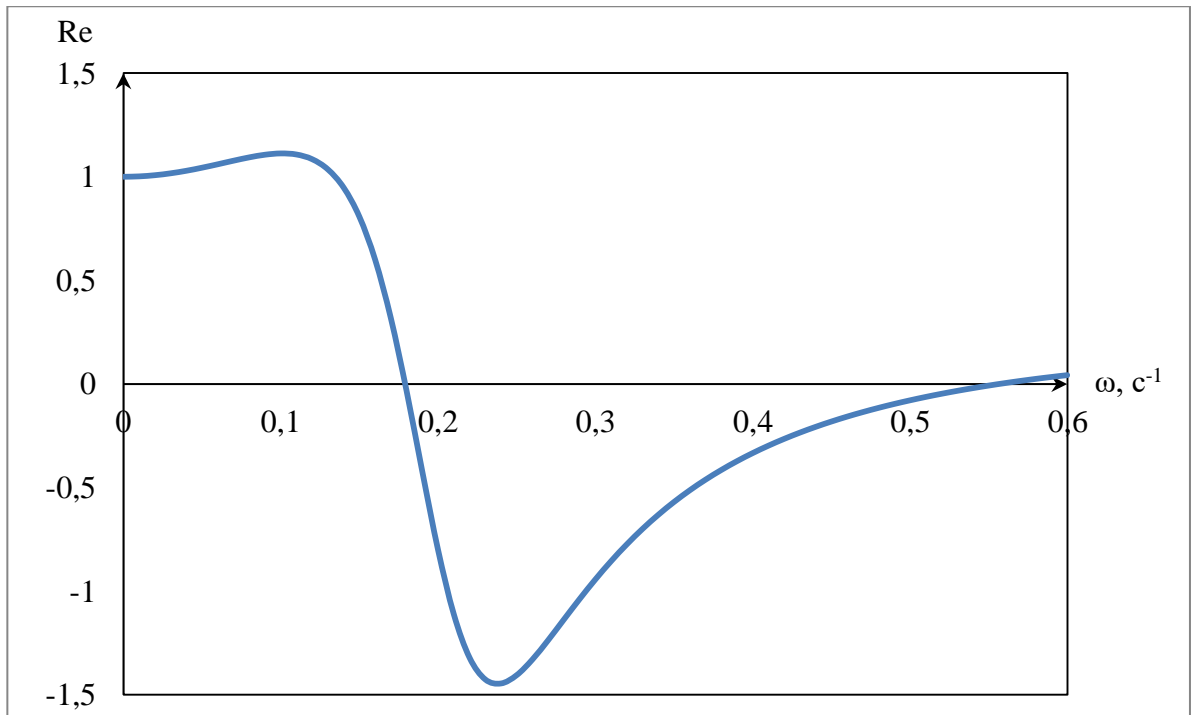


Рисунок 6.5 – График вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega, \quad (6.8)$$

где  $Re(\omega)$  – вещественная частотная характеристика системы;

$\omega$  – частота;

$t$  – продолжительность переходного процесса.

Для достижения точности расчета в качестве верхнего предела интеграла применяется значение, при котором вещественная частотная характеристика системы стремится к 0. Это значение определяется из рисунка 6.5.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,55} \frac{Re_{з.с.}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega.$$

На рисунке 6 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия.

Под качеством регулирования понимают совокупность показателей или критериев, позволяющих оценить характер отклонения регулируемой величины под действием изменяющихся возмущений и судить о том, насколько система удовлетворяет поставленным требованиям при заданных конкретных ограничениях.

Используя данные рисунка 6.6, производится оценка качества переходного процесса.

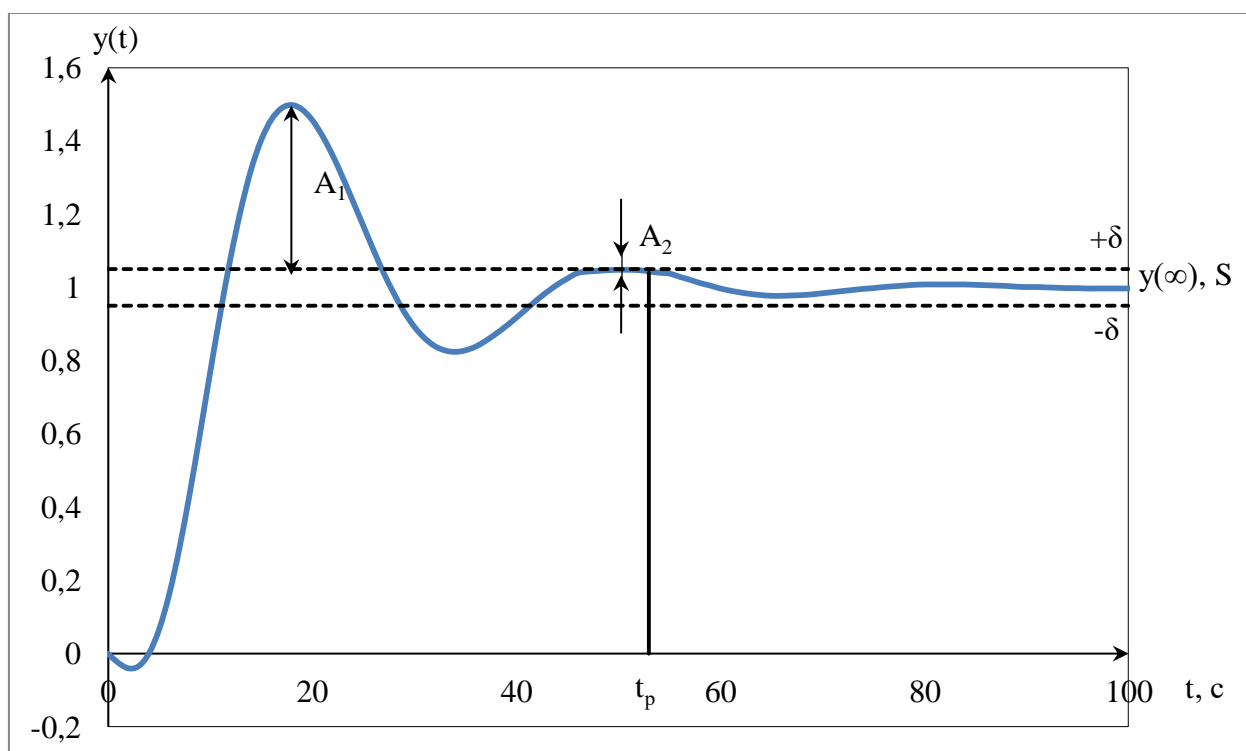


Рисунок 6.6 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Прямые оценки качества [37]:

1. Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,5}{1} \cdot 100 = 50 \%, \quad (6.9)$$

где  $y(\infty)$  – уровень установившегося значения регулируемой величины при времени переходного процесса  $t$ ;

$A_1 = 0,15$  – первый максимальный выброс регулируемой величины.

2. Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{CT} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0, \quad (6.10)$$

где  $S = 1(t)$  – сигнал задающего воздействия.

3. Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,05}{0,5} = 0,9, \quad (6.11)$$

где  $A_2 = 0,06$  – второй максимальный выброс регулируемой величины.

4. Время регулирования: при величине  $\delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 0,05$ ,

$$t_p = 53 \text{ с.}$$

5. Максимальная динамическая ошибка:

$$A_1 = 0,5.$$

Под оптимальным процессом регулирования понимают процесс, удовлетворяющий требованиям запаса устойчивости системы. Поиск оптимальных параметров настройки выполняется вдоль границы заданного запаса устойчивости системы регулирования до достижения экстремума принятого критерия качества – первого интегрального критерия.

## 7 Разработка мнемосхемы проекта

На рисунке 7.1 представлено главное окно. На мнемосхеме серый цвет ламп обозначает отключенное состояние, зеленый включенное, красный сигнал означает опасность.

В центральной части мнемосхема содержит условное изображение технологического процесса с указанием ключевых параметров. В левом верхнем углу расположена кнопка перехода на окно с трендами температуры в камере сгорания. В нижней части расположена панель управления, с помощью которой оператор может осуществлять включение и выключение основных насосов.

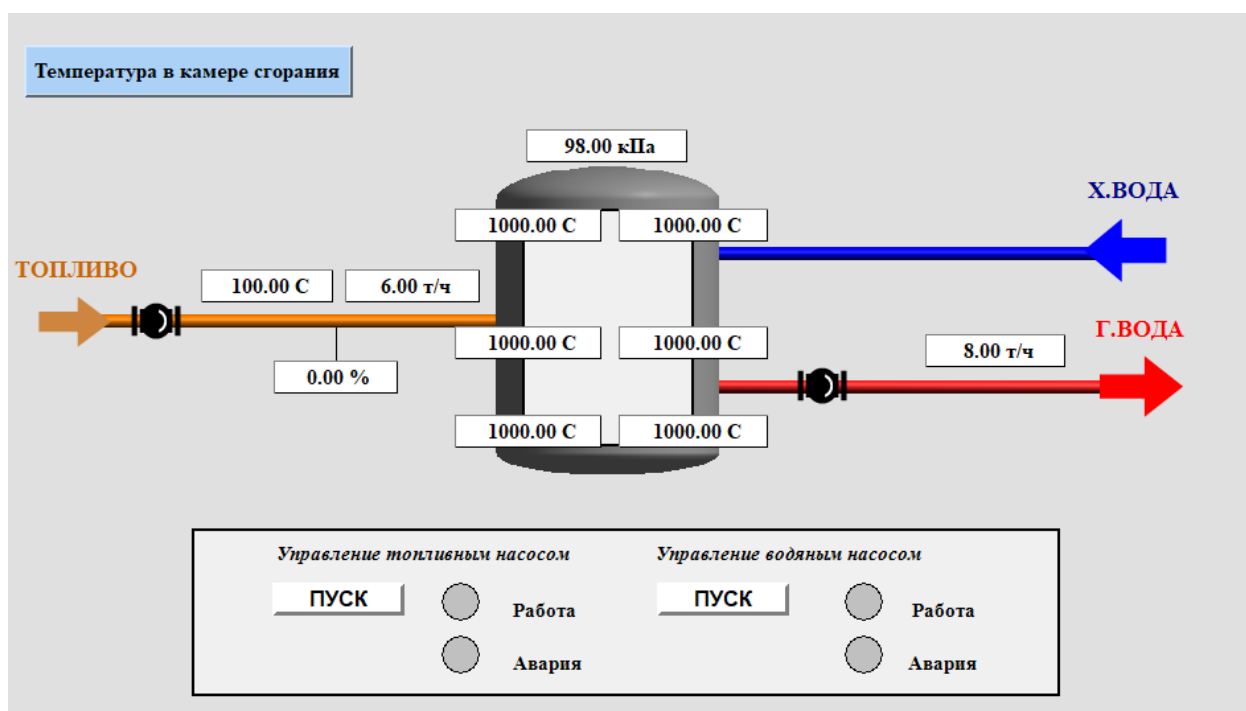


Рисунок 7.1 – Главное окно мнемосхемы

Произведена проверка работоспособности программного обеспечения. Для этого запущена программа в CoDeSys и проект в MasterSCADA. Произведен запуск насосов. Об успешном запуске оборудования сигнализируют зеленые лампы индикации (рисунок 7.2). При возникновении аварии оборудования на пульт поступит сигнал «Авария» (рисунок 7.3). При этом происходит срабатывание защиты и отключение насосов. Прекращается подача топлива в котел и воды к потребителю. При нажатии кнопки «Температура в камере сгорания» появляется окно трендов, позволяющее в режиме реального времени отследить температуру (рисунок 7.4).

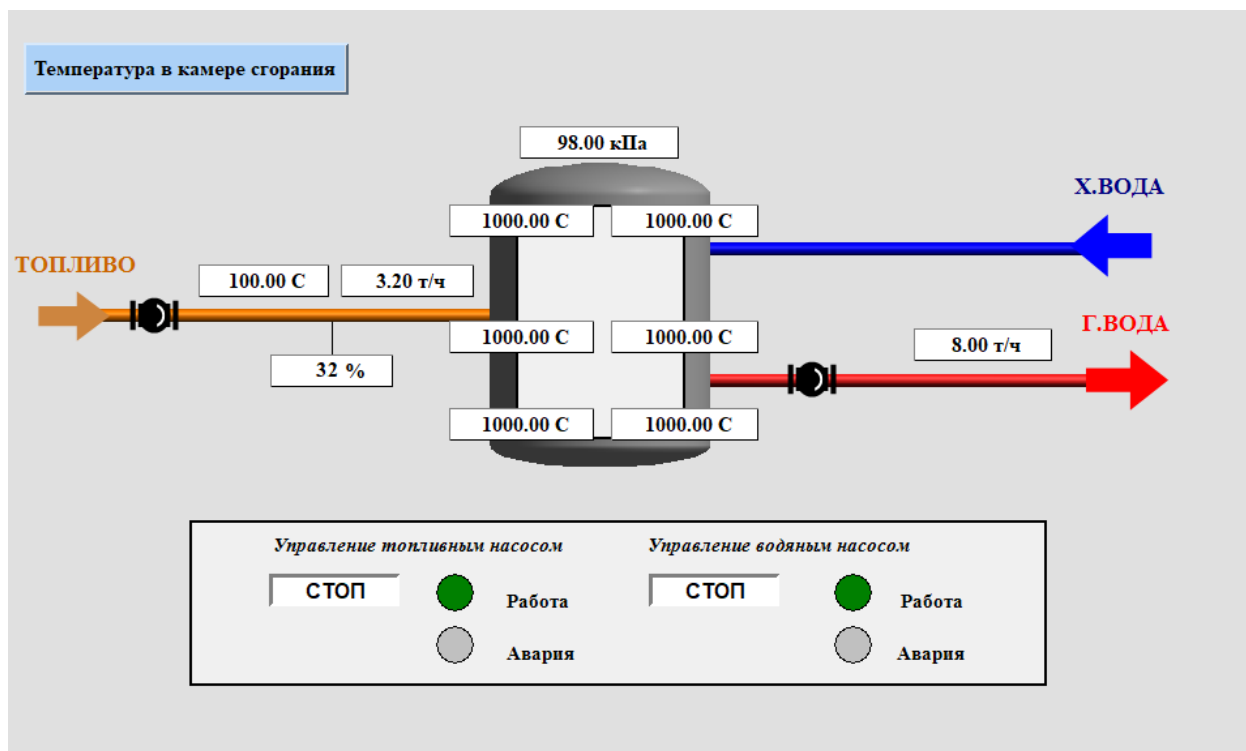


Рисунок 7.2 – Тестирование программы: запуск оборудования

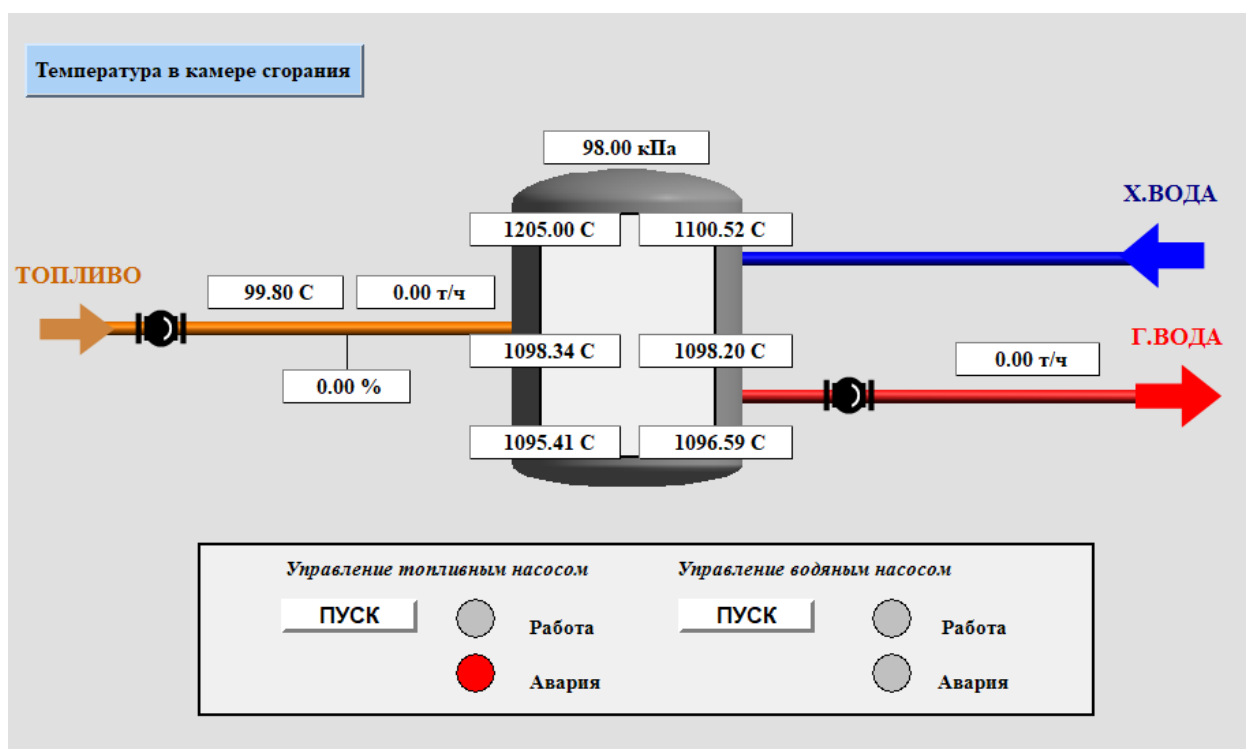


Рисунок 7.3 – Тестирование программы: возникновение аварийной ситуации

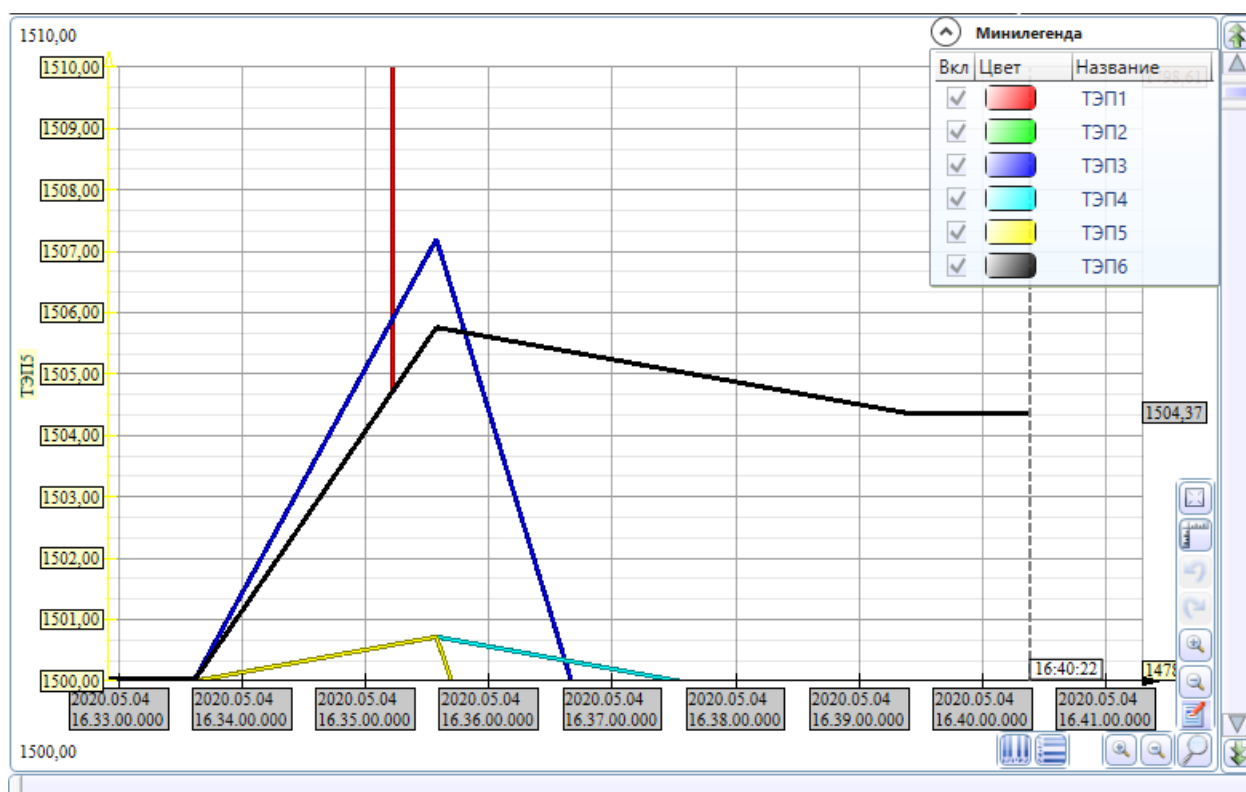


Рисунок 7.4 – Тренды изменения температуры в камере сгорания

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Демидович Анастасии Витальевне

Школа	ИШЭ	НОЦ	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Автоматическая система распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания	
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– Цена 1 л. дизельного топлива составляет 47 руб. – Должностной оклад инженера (И) – 17500 руб., научного руководителя (НР) – 39000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	– Районный коэффициент – 1,3.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– Отчисления в социальные фонды 30 % от фонда оплаты труда (ФОТ).
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– Описание потенциальных потребителей. – SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– Планирование работ и оценка их выполнения. – Разработка диаграммы Ганта. – Смета затрат на проект.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	– Смета затрат на оборудование. – Оценка экономической эффективности проекта.
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. Диаграмма Ганта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубоченко Т.Г.	К.Э.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Демидович Анастасия Витальевна		



Целью написания данного раздела является анализ финансово-экономических аспектов разработанной автоматической системы распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания, в качестве горючего материала используется эмульгированное топливо. Данная система является достаточно востребованной благодаря использованию перспективного топлива и рациональному методу дробления капель в камере сгорания.

Для выполнения данной задачи необходимо:

- 1)      составить перечень работ и оценить время их выполнения;
- 2)      составить смету затрат на проект;
- 3)      определить экономическую эффективность проекта.

#### 8.1 Оценка коммерческого потенциала исследования

В качестве потенциальных потребителей результатов исследования могут выступать как гражданская промышленность, так и ядерная, военная. Также результаты исследования будут полезны при изготовлении из алюмомагниевой шпинели прозрачных линз для сверхмощных лазеров, а также окон для летательных аппаратов.

Осуществлен SWOT – анализ, который позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие достижению успеха научного исследования.

Сильные и слабые стороны исследования представлены в таблице 8.1

Таблица 8.1 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Возможности
С1. Уникальность системы; С2. Экономия топлива; С3. Данная система является экономически выгодной, ресурсоэффективной; С4. Возможность применения системы для жидкого традиционного топлива; С5. Система является перспективной.	В1. Возможность получения патента; В2. Использование во многих отраслях; В3. Появление большого спроса на продукцию.
Слабые стороны	Угрозы
Сл1. Сложное оборудование; Сл2. Использование негорючего материала при изготовлении топлива; Сл3. Нет возможности обеспечить энергией большое количество потребителей.	У1. Превышение температуры в камере сгорания; У2. Неполное выгорание топлива.

По указанным данным видно, что возможности и сильные стороны системы способствуют развитию спроса.

Проведен комплексный анализ научного исследования. Самое большое негативное влияние оказывает неполное выгорание топлива, вследствие чего использование негорючего материала при изготовлении топлива является нерациональным по причине невозможности снижения антропогенных выбросов.

Что касаясь слабых сторон, то система имеет небольшое количество потребителей из-за ограничения мощности установки, но, с развитием технологий, данная слабая сторона регулируется сама собой.

## 8.2 Планирование работ и оценка времени выполнения

При организации процесса реализации проекта необходимо планировать занятость каждого из участников и сроки проведения работ. Для оценки времени выполнения проекта необходимо составить перечень всех выполняемых работ и время, затраченное на их выполнение. Для этого был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках разработки проекта, а

также приведены исполнители по каждому виду работ, а также их загруженность (таблица 8.2).

Таблица 8.2 – Перечень работ и загруженность исполнителей

Наименование работ	Исполнители	Загрузка
Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель	100 %
Анализ литературы	Инженер	100 %
	Научный руководитель	30 %
Проведение экспериментальных исследований	Инженер	100 %
Анализ результатов исследования	Инженер	100 %
	Научный руководитель	50 %
Разработка схемотехнической документации, подбор оборудования	Инженер	100 %
	Научный руководитель	10 %
Проектирование мнемосхемы	Инженер	100 %
	Научный руководитель	10 %
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	100 %
Проверка проекта	Инженер	100 %
	Научный руководитель	80 %

Ожидаемая продолжительность работ оценивается с помощью опытно-статистического метода. Для расчета ожидаемой продолжительности работ

воспользуемся экспертным способом, для этого воспользуемся следующей формулой:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5}, \quad (8.1)$$

где  $t_{\text{min}}$  – минимальное значение продолжительности работ, дн.;

$t_{\text{max}}$  – максимальное значение продолжительности работ, дн.;

Для построения линейного графика проведения работ необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет длительности в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (8.2)$$

где  $t_{\text{ож}}$  – вероятное (ожидаемое) значение продолжительности работ, дн.;

$K_{\text{вн}}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающих влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, принимаем равным 1;

$K_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных издержек и согласование работ, принимаем равным 1;

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (8.3)$$

где  $T_{\text{к}}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}, \quad (8.4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни (365);

$T_{\text{вд}}$  – выходные дни (104);

$T_{\text{пд}}$  – праздничные дни (14).

$$T_k = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205.$$

По данным таблицы 1 составлена продолжительность этапов работ и их трудоемкость по исполнителям, занятым на каждом этапе (таблица 8.3). Также построена диаграмма Ганта (таблица 8.4).

Таблица 8.3 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям, чел.- дн.			
					$T_{рд}$		$T_{кд}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1	2	1,4	1,4	–	1,69	–
Анализ литературы	НР, И	3	6	5,4	1,62	5,4	1,95	6,51
Проведение экспериментальных исследований	И	25	35	29	–	29	–	34,95
Анализ результатов исследования	НР, И	6	9	7,2	3,6	7,2	4,34	8,68
Разработка схемотехнической документации, выбор оборудования	НР, И	14	21	16,8	1,68	16,8	2,02	20,24
Проектирование мнемосхемы проекта	НР, И	8	12	9,6	0,96	9,6	1,16	11,57
Оформление пояснительной записки ВКР	И	8	12	9,6	–	9,6	–	11,57
Проверка проекта	НР, И	5	7	5,8	4,64	5,8	5,59	6,99
Итого:				84,8	13,9	83,4	16,75	100,51

Таблица 8.4 – Диаграмма Ганта

Номер этапа	Этап работы	Исполнители	Т <sub>кд</sub>	Продолжительность выполнения работ										
				Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1,69											
2	Анализ литературы	НР	1,95											
		И	6,51											
3	Проведение экспериментальных исследований	И	34,95											
4	Анализ результатов исследования	НР	4,34											
		И	8,68											
5	Разработка схмотехнической документации, выбор оборудования	НР	2,02											
		И	20,24											
6	Проектирование мнемосхемы проекта	НР	1,16											
		И	11,57											
7	Оформление пояснительной записки ВКР	И	11,57											
8	Проверка проекта	НР	5,59											
		И	6,99											

На основе анализа составленной диаграммы Ганта можно сделать вывод, что продолжительность работ составляет 11 декад, начиная с первой декады марта и заканчивая второй декадой июня. Можно предположить, что объем работ, в ходе исследования, может быть увеличен или наоборот сокращен, в зависимости от полученных результатов.

### 8.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

#### 8.3.1 Расчет материальных затрат

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на материалы, расходуемые непосредственно в процессе выполнения работ. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи. Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов (5...20 %). Данные по материальным затратам представлены в таблице 8.5.

Таблица 8.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4 500 листов	219	1 уп.	219
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Дизельное топливо	45,4	10 л.	454
Итого:			2223

Допущено, что транспортно-заготовительные работы (ТЗР) составляют 7 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$K_{\text{мат}} = 2223 \cdot 1,07 = 2379 \text{ руб.}$$



### 8.3.2 Расчет затрат на заработную плату

Заработная плата – это вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также выплаты компенсационного и стимулирующего характера. Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi}, \quad (8.5)$$

где  $ЗП_{инж}^{\phi}$  – фактическая заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^{\phi}$  – фактическая заработная плата научного руководителя.

Месячная заработная плата инженера и научного руководителя:

$$ЗП_{инж}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2; \quad (8.6)$$

$$ЗП_{нр}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (8.7)$$

где  $ЗП_{инж}^м$  – месячная заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^м$  – месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_0$  – месячный оклад (инженер 17500 руб., научный руководитель 39000 руб.);

$K_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск, равен 1,1;

$K_2$  – районный коэффициент равен 1,3.

$$ЗП_{инж}^м = 17500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 25025 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{нр}^м = 39000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 55770 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{24} \cdot n_{\phi}, \quad (8.8)$$

где  $ЗП_{мес}$  – месячная заработная плата;

24 – среднее число рабочих дней в месяце;

$n^{\Phi}$  – фактическое число дней в проекте.

Инженер:

$$ЗП_{инж}^{\Phi} = \frac{25025}{24} \cdot 101 = 105314 \text{ руб.};$$

Научный руководитель:

$$ЗП_{нр}^{\Phi} = \frac{55770}{24} \cdot 101 = 234699 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату:

$$K_{з/пл} = 105314 + 234699 = 340013 \text{ руб.}$$

### 8.3.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, в нашем случае:

$$K_{соц} = K_{з/пл} \cdot 0,3; \quad (8.9)$$

$$K_{соц} = 340013 \cdot 0,3 = 102004 \text{ руб.}$$

### 8.3.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$K_{эл} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э}, \quad (8.10)$$

где  $P_{об}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{э}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $Ц_{э} = 5,748$  руб/кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется из расчета, что продолжительность рабочего дня инженера составляет 8 часов.

$$t_{об} = T_{рд} \cdot K_t, \quad (8.11)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени.

В ряде случаев возможно определение  $t_{об}$  путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \cdot K_c, \quad (8.12)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности равен 1.

Данные по затратам на технологическую электроэнергию представлены в таблице 8.6.

Таблица 8.6 – Расчет затрат на технологическую электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования, час	Потребляемая мощность, кВт	Затраты, руб.
Персональный компьютер	900	0,5	2587
Высокоскоростная видеокамера	90	0,2	103
Итого:			2690

Таким образом, затраты на электроэнергию  $K_{эл} = 2690$  руб.

### 8.3.5 Расчет амортизационных расходов

В данной статье рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта. Используется формула:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.тех}}{T_{кал}} \cdot C_{тех} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad (8.13)$$

где  $T_{исп.тех}$  – время использования техники;

$T_{кал}$  – календарное время;

$C_{\text{тех}}$  – цена техники;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы техники.

Амортизационные отчисления за персональный компьютер составляют:

$$K_{\text{ам}} = \frac{101}{365} \cdot 50000 \cdot \frac{1}{5} = 2767 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления за скоростную видеокамеру составляют:

$$K_{\text{ам}} = \frac{101}{365} \cdot 200000 \cdot \frac{1}{8} = 6918 \text{ руб.}$$

Итого начислено амортизации 9685 руб.

### 8.3.6 Расчет прочих расходов

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат и от суммы всех предыдущих расходов:

$$K_{\text{проч}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц}} + K_{\text{эл}} + K_{\text{ам}}) \cdot 0,1, \quad (8.14)$$

В данном случае:

$$K_{\text{проч}} = (2379 + 340013 + 102004 + 2690 + 9685) \cdot 0,1 = 45677 \text{ руб.}$$

### 8.3.7 Расчет накладных расходов

Накладные расходы – расходы на хозяйственное обслуживание лаборатории и управление процессом экспериментов, являющиеся дополнительными к основным затратам и наряду с ними включаемые в издержки производства. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (8.15)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$K_{\text{накл}} = 444396 \cdot 0,16 = 71103 \text{ руб.}$$

В таблице 8.7 представлена смета затрат на проект.

Таблица 8.7 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	2379
Затраты на заработную плату	340013
Затраты на социальные нужды	102004
Затраты на электроэнергию	2690
Амортизационные отчисления	9685
Прочие затраты	45677
Накладные расходы	71103
Итого	573551

Таким образом, затраты на разработку  $C = 573551$  руб.

#### 8.3.8 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 8.8 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 8.8 – Смета затрат на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК ОВЕН 63	12390	1
Модуль МВ110-8А	7080	1
Исполнительный механизм	19000	1
Блок питания исполнительным механизмом	6650	1
Блок питания БП906/24-8	10580	1
Блок питания БП906/24-2	8770	1
Термопара «Метран»	12800	6
Термопреобразователь сопротивления «Метран»	5700	1

Продолжение таблицы 8.8

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
Датчик давления «Элемер»	35100	1
Расходомер «Эй-Си Электроникс»	42500	2
Кабель КРВГ 4х1	400	14
Кабель КРВГ 27х1	4900	1
Кабель АКРВБГ 4х2,5	300	1
Кабель АКРВБГ 4х7	550	1
Кабель КИПЭВ 1х2х0,6	8800	1
Компьютер	50000	1
Высокоскоростная видеокамера	200000	1
Итого	537220	36

Затраты на монтажные работы и транспортировку оборудования составляют 15 % от суммы затрат на технические средства и рассчитываются в рублях:

$$I_{\text{монт}} = 0,15 \cdot I_{\text{об}}, \quad (8.16)$$

где  $I_{\text{об}}$  – затраты на оборудование.

$$I_{\text{монт}} = 0,15 \cdot 537220 = 80583 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на оборудование, монтажные работы и транспортировку:

$$I = I_{\text{об}} + I_{\text{монт}} = 537220 + 80583 = 617803 \text{ руб.}$$

#### 8.4 Определение экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта.

Поскольку данная работа в первую очередь носит исследовательский характер, поэтому в данном случае возможно использование только относительных оценок.

Использование эмульгированного топлива позволяет снизить расход дизельного топлива на 8,6 %. Исходя из этого, можно сделать вывод, что при пересчете на 1 литр сжигаемого топлива получаем следующий экономический эффект, который определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = I_{\text{д.т.}} - I_{\text{э.т.}} \quad (8.17)$$

где  $I_{\text{д.т.}}$  – издержки производства при использовании дизельного топлива;

$I_{\text{э.т.}}$  – издержки производства при использовании эмульгированного топлива.

Цена одного литра дизельного топлива с учетом ТЗР составляет 47 руб., следовательно, стоимость эквивалентного количества эмульгированного топлива составляет 42,96 руб., таким образом, предполагаемый экономический эффект при производстве соответствующего количества тепловой энергии:

$$\mathcal{E} = 47 - 42,96 = 4,04 \text{ руб.}$$

Данная оценка носит лишь приблизительный характер, для более точной оценки экономического эффекта требуется проведение дополнительных исследований на реальных энергетических установках.

В данном разделе был выполнен анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения научно-исследовательской работы. Потенциальными потребителями разрабатываемой системы являются частные лица и предприятия, не имеющие свободного доступа к газовым магистралям и системам централизованного отопления по тем или иным причинам, и имеющие при этом свободный доступ к жидкому топливу. Данная система является конкурентноспособной благодаря своим преимуществам: сниженные антропогенные выбросы, повышенная динамика процесса горения. Были проанализированы слабые и сильные стороны работы,

способы устранения их и использования для продвижения исследовательской работы. Был проведен прогноз внешних угроз и возможностей, учитывая которые можно повысить конкурентоспособность данного проекта. В данном разделе было произведено распределение обязанностей по научно-исследовательской работе и рассчитано время, необходимое для выполнения работы. Общая продолжительность работ составила 101 день. Также был сформирован бюджет затрат НТИ, который составил 573551 руб.



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б6В	Демидович Анастасии Витальевне

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>И.Н. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Теплоэнергетика и теплотехника</b>

Тема ВКР:

Автоматическая система распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования – автоматическая система распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания.</p> <p>Приборы: водогрейный котел, экспериментальная установка по соударению капель топлив.</p> <p>Область применения: энергетическая отрасль.</p> <p>Научная работа выполнялась в лаборатории НИ ТПУ главного корпуса.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– СП 60.13330.2012;</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548 – 96;</li> <li>– СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»;</li> <li>– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;</li> <li>– ТОИ Р-45-084-01;</li> <li>– ГОСТ 12.1.038-8.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенная влажность воздуха;</li> <li>– пониженная подвижность воздуха;</li> <li>– отсутствие или недостаток естественного света;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– повышенная пульсация светового потока;</li> <li>– физические перегрузки;</li> <li>– нервно-психические перегрузки;</li> <li>– повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание</li> </ul>

	которой может произойти через тело человека.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: – техногенные ЧС (пожары, взрывы, угроза взрывов). Наиболее типичная ЧС: – пожар.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	16.04.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Демидович А.В.		

## 9 Социальная ответственность

В настоящей работе рассматривается работа водогрейного котла, работающего на эмульгированном топливе, характеризующийся следующими признаками: процесс сжигания осуществляется в камере сгорания; капля жидкого топлива, попавшая в нагретый объем, температура которого выше температуры самовоспламенения, начинает частично испаряться; пары топлива смешиваются с воздухом, и образуется паровоздушная смесь. Процесс сжигания ведется при повышенном значении коэффициента избытка воздуха.

Предлагаемая система поможет минимизировать расход топлива, повысить динамику процесса горения, снизить антропогенные выбросы при сжигании топлива, сделать водогрейные котлы более привлекательными как для промышленного производства, так и для частного использования.

В разработке данной темы заинтересованы предприятия и частные лица, не имеющие свободного доступа к газовым магистралям и системам централизованного отопления по тем или иным причинам, и имеющие при этом свободный доступ к жидкому топливу.

Работа реализуется в лаборатории, где проводятся основные эксперименты, а также их обработка на персональном компьютере.

### 9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с Трудовым Кодексом РФ и правовыми нормами обеспечения безопасности предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, которая предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;
- установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1-2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы);
- обеденный перерыв не менее 40 минут.

При приеме на работу обязательный медицинский осмотр и периодический во время работы. Каждый сотрудник должен пройти инструктаж по технике безопасности перед приемом на работу и в дальнейшем, должен быть пройден инструктаж по электробезопасности и охране труда.

Оплата труда, социальные пособия, дополнительные выплаты устанавливаются в соответствии со степенью вредности и опасности выполняемых обязанностей.

С точки зрения эргономики оптимальное рабочее место обеспечивает выполнение трудовых операций в пределах моторного поля – пространства, в котором работник совершает действия, необходимые для управления оборудованием.

Для каждого работающего в лаборатории должно быть обеспечено удобное рабочее место, не стесняющее его действий во время выполняемой работы. Основной объем работ выполняется сидя, поэтому рабочее место должно отвечать требованиям ГОСТ 12.2.032 [38]. Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости представлены на рисунке 9.1.

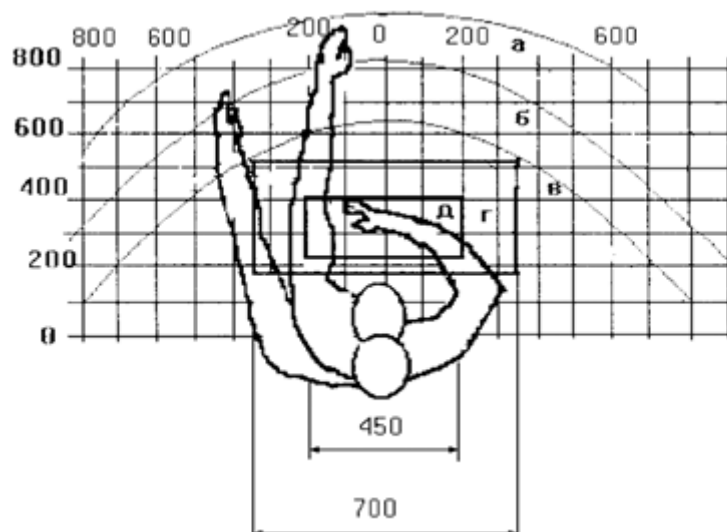


Рисунок 9.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

а – зона максимальной досягаемости (часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе); б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Рабочее место должно содержаться в чистоте. Уборка рабочих мест, должна производиться после окончания работы, но ни в коем случае не перед или вовремя нее.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение, как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

## 9.2 Производственная безопасность

Для выявления потенциально вредных и опасных факторов, обратимся к ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [39].

В таблице 9.1 приведены возможные опасные и вредные факторы при эксплуатации автоматической системы.

Таблица 9.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенная влажность воздуха	+	+	+	СП 60.13330.2012 [40]
2. Пониженная подвижность воздуха	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548 – 96 [41]
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [42]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [42]
5. Повышенная пульсация светового потока	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [43]
6. Физические перегрузки (статические)	+		+	ТОИ Р-45-084-01 [44]
7. Нервно-психические перегрузки		+	+	ТОИ Р-45-084-01 [44]
8. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-8 [45]

Для выявления мероприятий по борьбе с вредными факторами необходимо провести их анализ.

### 9.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Разберем приведенные в таблице 9.1 факторы подробнее и выявим пути для снижения их воздействия на людей, работающих лаборатории.

#### 9.3.1 Повышенная влажность воздуха

Повышенная влажность воздуха возникает в результате плохой вентиляции помещения, сырости цокольных помещений, которые передают влагу наверх, несоблюдения норм, установленных в нормативной документации.

Согласно цифрам, приведенным в приложении СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», холодный (зима) и переходный (весна и осень) период – оптимальная влажность 30...45%, если период года теплый (лето) оптимальная влажность 30...60% [40].

Таблица 9.2 – Оптимальные уровни температуры, влажности и скорости движения воздуха на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Теплый	23-25	60-40	0,1
Холодный	22-24	60-40	0,1

Подобная таблица в более развернутом виде приведена в СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». Приемлемая влажность в том помещении, где отсутствует принудительная система вентиляции воздуха, поддерживается с помощью регулярных проветриваний [41].

### 9.3.2 Пониженная подвижность воздуха

Пониженная подвижность воздуха возникает в сильно герметичном помещении при отсутствии регулярных проветриваний. Нормируется данный показатель по СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату помещений» [41].

В зависимости от сезона года и категории выполняемых работ допустимое значение скорости движения воздуха немного отличается, в теплое время года допускается более интенсивное движение воздуха.

Скорость движения воздуха оказывают существенное воздействие на производительность человека, его самочувствие и здоровье. При определенных значениях работник ощущает состояние комфорта, что приводит к повышению производительности, предупреждению простудных заболеваний. При этом неблагоприятный уровень скорости движения воздуха может стать причиной снижения производительности в работе, привести к различным заболеваниям верхних дыхательных путей.

Таблица 9.3 – Допустимые нормы скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальное значение	Допустимое значение
Холодный	1а	0,1	0,1
Теплый	1а	0,1	0,1-0,2

### 9.3.4 Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещенность оказывает влияние на физическое состояние индивидуума, правильно спроектированное освещение усиливает течение



процессов в высшей нервной деятельности и повышает производительность. При плохом свете человек работает менее продуктивно, быстрее утомляется, возрастает возможность неправильных поступков, это может привести к травмам и возникновению чрезвычайных ситуаций. В зависимости от интенсивности, свет может оказывать возбуждающее (оранжево-красный) или успокаивающее (желто-зеленый) действие.

В СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», которое является актуализированной редакцией СНиП 23-05-95, устанавливаются нормы для производственных зданий. Освещенность нормируется в зависимости от таких параметров как: точность зрительной работы, относительная продолжительность работы, разряд зрительной работы, и так далее [42].

### 9.3.5 Повышенная пульсация светового потока

Энцефалограмма человека с характерным пиком на частоте пульсирующего освещения еще с 60-х годов публиковалась как доказательство вредного действия пульсаций освещенности на нервную систему.

Сегодня же, по мнению нейрофизиологов, навязывание нервной системе высокочастотного дополнительного ритма повредить не может. Картинка всего лишь показывает восприимчивость нервной системы к пульсациям освещенности.

Однако, при длительной напряженной зрительной работе выраженные пульсации освещения действительно вредны, так как мешают движению взгляда. Могут утомлять зрение, вызывать головную боль [43].

Нормы пульсаций в помещениях, оборудованных компьютерами — не более 5% [44].

### 9.3.6 Физические и нервно-психические перегрузки

Для того что бы избежать переутомления вследствие продолжительной работы за персональным компьютером следует чередовать работу с перерывами на отдых.

Согласно типовой инструкции по охране труда при работе на персональном компьютере организация работы производится в зависимости от вида и категории трудовой деятельности [46].

Трудовая деятельность подразделяются на несколько групп:

- работа по считыванию информации с экрана монитора с предварительным запросом, отнесена к группе А;
- работа по вводу информации – к группе Б;
- творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ – к группе В.

При выполнении в течение рабочего дня работы, относящейся к различным категориям трудовой деятельности, за основную работу с персональным компьютером принимают такую, которая занимает не менее половины времени в течение рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается три категории тяжести работы с персональным компьютером. Самые тяжелые значения соответствуют третьей категории работы с персональным компьютером, их значения определяются:

- для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену;
- для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену;
- для группы В – по суммарному времени непосредственной работы с персональным компьютером за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

Рекомендуемое суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ приведено в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, ч	при 8-часовой смене	при 12-часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

9.3.7 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

В процессе использования персонального компьютера может возникнуть опасность поражения электрическим током. Действия, которые производит электрический ток, проходя через организм человека:

- а) термическое действие;
- б) электролитическое действие;
- в) механическое действие;
- г) биологическое действие.

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

#### 9.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего

Для профилактики неблагоприятного влияния повышенной влажности и малой подвижности воздуха должны быть использованы предупредительные мероприятия, например, системы местного кондиционирования воздуха, регулярное проветривание помещений, регламент времени работы и т.д. Профилактика сырости в помещениях. Так же борьба с высокой влажностью воздуха в помещениях заключается в соблюдении установленных гигиенических норм кубических объемов воздуха на одного человека, благоустройстве систем вентиляции и систем отопления, гидроизоляции стен и полов здания от грунтовых вод и запрете производить в жилых помещениях какие-либо работы, связанные с образованием сырости [47].

К способам снижения пульсаций света можно отнести [48]:

- подключение ламп в разные фазы трехфазной сети;
- питание двух ламп в светильнике со сдвигом (одну индуктивным током, другую емкостным), для чего в светильник устанавливают пускорегулирующую аппаратуру;
- использование освещения, где лампы должны подключаться в переменный ток частотой 400 Гц и выше;
- демонтаж установленных ранее светильников, оснащенных электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой, и установка на ее место других светильников, оснащенных электронной пускорегулирующей аппаратурой;
- оставить действующие светильники (если они соответствуют требованиям п. 6.6, 6.7 и 6.10 [44]), демонтировать из них электромагнитную пускорегулирующую аппаратуру и установить на их место электронную) [47].

В случае если фактическое освещение помещения меньше нормированного. Пути решения проблемы, следующие: изменение характеристик окна (замена двойного остекления одинарным, замена переплетов), изменение расстановки рабочих мест (уменьшение удаленности от окна). Проблема с искусственным освещением решается путем замены ламп на более мощные, комбинировании ламп накаливания и светодиодных ламп [49].

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПЭВМ рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него.

В случаях, когда характер работы требует постоянного взаимодействия с компьютером (набор текстов или ввод данных и т.п.) с напряжением внимания и сосредоточенности, при исключении возможности периодического переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПЭВМ, предлагается осуществлять перерывы на 10-15 мин. через каждые 45-60 мин. работы. Продолжительность непрерывной работы без регламентированного перерыва не должна превышать 1 часа.

При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22:00 до 6:00) независимо от категории и вида трудовой деятельности продолжительность регламентированных перерывов желательно увеличивать на 30 %.

Во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития позотонического утомления целесообразно выполнять комплексы упражнений, которые приведены в Приложениях 8-10 [44]:

- комплексы упражнений для глаз;
- комплексы упражнений физкультурных минуток;
- комплексы упражнений физкультурных пауз.

Чтобы исключить опасность поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электробезопасности:

- перед включением компьютера в сеть должна быть визуально проверена его электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети устройство и устранить неисправность;
- запрещается при включенном устройстве одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление;
- запрещается эксплуатация оборудования в помещениях с повышенной опасностью;
- штепсельную вилку включать и выключать из розетки можно только при выключенном устройстве [50].

#### 9.5 Экологическая безопасность

Загрязнение (окружающей среды, природной среды, биосферы) – это привнесение в окружающую среду (природную среду, биосферу) или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов (загрязнителей), или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

В процессе сжигания топлива выделяются продукты сгорания, содержащие значительное количество вредных веществ. Основными вредными веществами, образующимися в результате сжигания жидкого топлива, являются выбросы оксидов серы и азота, углекислого газа.

Антропогенные выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ – один из основных факторов, обуславливающих изменение химического состава атмосферы и ее теплового баланса. Процессы добычи, переработки и

сжигания органического топлива являются источником 80 % суммарных объемов выбросов в атмосферу, в том числе 90 % диоксида углерода.

Негативное влияние вредных компонентов на здоровье населения, флору и фауну, объекты и сооружения не ограничивается территорией, прилегающей к источникам выбросов, а распространяется на сотни и тысячи километров. Поэтому в настоящее время загрязнение окружающей среды приобретает глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

Для снижения количества выбросов необходимо контролировать расход воздуха в камере сгорания. При нехватке окислителя, возникает большой недожог, что приводит к увеличению количества золовидных отходов процесса сжигания топливной композиции. А при избытке воздуха образуются оксиды азота.

Регулирование температуры в камере сгорания является одним из важных аспектов в системе сжигания топлива, так как наибольшее влияние на образование оксида азота оказывает температура.

## 9.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

В процессе эксплуатации спроектированной системы, может возникнуть пожар, причиной которого может быть неисправность электрооборудования или проводки, несмотря на принятые меры защиты от данной ситуации.

Пожар – неконтролируемый процесс горения, представляющий опасность жизни и здоровью людей и животных, а также причиняющий материальный ущерб.

Для профилактики пожара необходимо проводить комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности – ликвидация возможных источников воспламенения.

Для исключения возникновения пожара необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности и неисправные электроприборы и не использовать неисправные электроприборы.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации, представленному на рисунке 9.2, и приступить к ликвидации пожара огнетушителями.



Рисунок 9.2 – План эвакуации из помещения лаборатории



При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Для уменьшения вероятности возникновения пожара, вследствие короткого замыкания, необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курения в помещении категорически запрещено.

В целях предотвращения пожара также необходимо проводить с людьми, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

#### 9.7 Заключение по разделу социальная ответственность

Практическая значимость данного раздела существенна для проектирования автоматической системы распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания, так как с ее помощью устанавливаются и внедряются меры по повышению безопасности людей, окружающей среды и имущества, так или иначе испытывающих влияние внедряемого решения и объекта в целом. Внедренные в объект решения, касающиеся производственной, экологической безопасностей и безопасности в ЧС, делают разрабатываемую систему более пригодной для практического применения и повышают ее конкурентоспособность.

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматическая система распыления и вторичного измельчения капель топлив в камере сгорания. Спроектированная система является двухуровневой. Полевой уровень включает датчики измерения температуры и расхода, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы. На среднем уровне располагается контроллер.

В ходе выполнения дипломного проекта была разработана проектная документация: схема структурная, схема функциональная, схема принципиальная электрическая, схема монтажная и общий вид щита.

Проведены экспериментальные исследования по соударению бинарных капель и их измельчению, а также изучено влияние ключевых характеристик процесса горения на режим взаимодействия.

В пояснительной записке к выпускной квалификационной работе содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки конструкторской документации и мнемосхемы. Кроме того, произведен расчет параметров настройки регулятора и определены прямые оценки качества, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lapuerta M., Armas O., Rodriguez-Fernandez J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions //Progress in energy and combustion science. – 2008. – Т. 34. – №. 2. – С. 198-223.
2. Strizhak P. A., Volkov R. S. The integral characteristics of the deceleration and entrainment of water droplets by the counter flow of high-temperature combustion products //Experimental Thermal and Fluid Science. – 2016. – Т. 75. – С. 54-65.
3. Volkov R. S., Strizhak P. A. Motion of water droplets in the counter flow of high-temperature combustion products //Heat and Mass Transfer. – 2018. – Т. 54. – №. 1. – С. 193-207.
4. Kuznetsov G. V., Piskunov M. V., Strizhak P. A. How to improve efficiency of using water when extinguishing fires through the explosive breakup of drops in a flame: Laboratory and field tests //International Journal of Thermal Sciences. – 2017. – Т. 121. – С. 398-409.
5. Lefebvre A. H., McDonell V. G. Atomization and sprays. – CRC press, 2017.
6. Wang C. H., Liu X. Q., Law C. K. Combustion and microexplosion of freely falling multicomponent droplets //Combustion and flame. – 1984. – Т. 56. – №. 2. – С. 175-197.
7. Wood B. J., Wise H., Inami S. H. Heterogeneous combustion of multicomponent fuels //Combustion and Flame. – 1960. – Т. 4. – С. 235-242.
8. Niioka T., Sato J. Combustion and microexplosion behavior of miscible fuel droplets under high pressure //Symposium (International) on Combustion. – Elsevier, 1988. – Т. 21. – №. 1. – С. 625-631.
9. Takei M., Tsukamoto T., Niioka T. Ignition of blended-fuel droplet in high-temperature atmosphere //Combustion and Flame. – 1993. – Т. 93. – №. 1-2. – С. 149-156.
10. Botero M. L. et al. Synergistic combustion of droplets of ethanol, diesel and biodiesel mixtures //Fuel. – 2012. – Т. 94. – С. 342-347.

11. Hoxie A., Schoo R., Braden J. Microexplosive combustion behavior of blended soybean oil and butanol droplets //Fuel. – 2014. – T. 120. – С. 22-29.
12. Jung S. et al. Experimental study of atomization patterns produced by the oblique collision of two viscoelastic liquid jets //Journal of non-newtonian fluid mechanics. – 2011. – T. 166. – №. 5-6. – С. 297-306.
13. Planchette C., Lorenceau E., Brenn G. Liquid encapsulation by binary collisions of immiscible liquid drops //Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2010. – T. 365. – №. 1-3. – С. 89-94.
14. Munnannur A., Reitz R. D. A new predictive model for fragmenting and non-fragmenting binary droplet collisions //International journal of multiphase flow. – 2007. – T. 33. – №. 8. – С. 873-896.
15. Neitzel G. P., Dell'Aversana P. Noncoalescence and nonwetting behavior of liquids //Annual review of fluid mechanics. – 2002. – T. 34. – №. 1. – С. 267-289.
16. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыления жидкостей //М.: Химия. – 1984. – Т. 254.
17. Taskiran O. O., Ergeneman M. Trajectory based droplet collision model for spray modeling //Fuel. – 2014. – T. 115. – С. 896-900.
18. Malgarinos I., Nikolopoulos N., Gavaises M. Numerical investigation of heavy fuel droplet-particle collisions in the injection zone of a Fluid Catalytic Cracking reactor, Part I: Numerical model and 2D simulations // Fuel Processing Technology. 2017.V. 156. P. 317–330.
19. Malgarinos I., Nikolopoulos N., Gavaises M. Numerical investigation of heavy fuel droplet-particle collisions in the injection zone of a Fluid Catalytic Cracking reactor, Part I: Numerical model and 2D simulations //Fuel Processing Technology. – 2017. – T. 156. – С. 317-330.
20. Orme M. Experiments on droplet collisions, bounce, coalescence and disruption //Progress in Energy and Combustion Science. – 1997. – T. 23. – №. 1. – С. 65-79.

21. Demidovich A. V. et al. Interaction of Liquid Droplets in Gas and Vapor Flows //Energies. – 2019. – Т. 12. – №. 22. – С. 4256.
22. IASTEAM. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ici-steam.ru/catalog/promyshlennyye-vodogreynye-kotly/rex/> свободный. – Загл. с экрана.
23. Математическая модель котла как объекта управления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/21/2174/> свободный. – Загл. с экрана.
24. Элемер. Каталог продукции 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/catalogs/> свободный. – Загл. с экрана.
25. Метран. Каталог продукции 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mtn.nt-rt.ru> свободный. – Загл. с экрана.
26. Овен. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.owen.ru/catalog> свободный. – Загл. с экрана.
27. Каталог продукции ОАО «Endress+Hauser». – М.: Изд-во «Endress+Hauser», 2019. – 215 с.
28. Эй-Си Электроникс. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://encont.nt-rt.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
29. Siemens. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-ru.com/taxonomy/term/12> свободный. – Загл. с экрана.
30. НПОВЭСТ. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://npowest.ru/production/west-02> свободный. – Загл. с экрана.
31. ЗИМ. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://td-prom.ru/produktsiya/ispolnitelnye-mekhanizmy111/279-ispolnitelnye-mekhanizmu-meo-250> свободный. – Загл. с экрана.
32. Волмаг. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.volmag.ru/produkcija/kontrollery-serii-kontrast/bloki-upravleniya-meo-i-zadvizhkami/> свободный. – Загл. с экрана.

33. Кабель.РФ. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cable.ru/cable/> свободный. – Загл. с экрана.
34. КИП. Монтаж. Поставка. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.kmp163.ru/goods/37475760-shchit\\_shkafnoy\\_malogobaritny\\_shchshm\\_600kh400kh250](https://www.kmp163.ru/goods/37475760-shchit_shkafnoy_malogobaritny_shchshm_600kh400kh250) свободный. – Загл. с экрана.
35. Спасибов В. М. Идентификация промышленных объектов и систем управления: учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – 104 с.
36. Поповский А.Ю. Синтез регуляторов линейных систем: учебное пособие; под общ. ред. С.И. Горба. – Одесса: ОНМА, 2006. – 51 с.
37. Андык В.С. Теория автоматического управления. Учебное пособие к практическим занятиям: - Томск: Изд. ТПУ, 2000.–108 с.
38. ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – Введ. 1979–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.
39. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071> свободный. – Загл. с экрана.
40. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2012. – 87 с.
41. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – М.: Стандартинформ, 2002. – 20 с.
42. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». – М.: Стандартинформ, 2017. – 104 с.
43. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

44. ТОО Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере (ПК, ПЭВМ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=106022#08403801399711097> свободный. – Загл. с экрана.
45. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meganorm.ru/Index2/1/4293792/4293792052> свободный. – Загл. с экрана.
46. Гигиеническое значение влажности воздуха. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://медпортал.com/gigiena-sanepidkontrol\\_733/gigienicheskoe-znachenievlajnosti-56941.html](http://медпортал.com/gigiena-sanepidkontrol_733/gigienicheskoe-znachenievlajnosti-56941.html) свободный. – Загл. с экрана.
47. Пульсации яркости: факты, механизмы и нормы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geektimes.com/post/291803> свободный. – Загл. с экрана.
48. Влияние освещенности на организм человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fguzsakha.ru/portfolio-view/osveshenie> свободный. – Загл. с экрана.
49. Мероприятия для улучшения естественного освещения в помещении. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ohrana-bgd.narod.ru/opr1.html> свободный. – Загл. с экрана.
50. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергия, 1981. – 590 с.